Die Permeabilität des Eisens bei Magnetisierung durch technische Wechselströme.

Von
Franz Hirschauer
Diplom-Ingenieur.

Von der K. Technischen Hochschule zu München zur Erlangung der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften (Doktor-Ingenieurs) genehmigte Dissertation

---

Referent: Professor **Dr. Kurt Heinke**
Korreferent: Professor **Johann Ossanna.**

München 1910.
Dr. Wild'sche Buchdruckerei Gebr. Parcus.

Die Permeabilität des Eisens bei Magnetisierung durch technische Wechselströme.

Von
Franz Hirschauer
Diplom-Ingenieur.

Von der K. Technischen Hochschule zu München zur Erlangung der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften (Doktor-Ingenieurs) genehmigte Dissertation.

ACAD. LUGDUNAT. BIBL.

Referent: Professor **Dr. Kurt Heinke**
Korreferent: Professor **Johann Ossanna.**

München 1910.
Dr. Wild'sche Buchdruckerei Gebr. Parcus.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555409_0067

Vorwort.

Die Versuche zur vorliegenden Arbeit wurden im Elektrotechnischen Institut der K. Technischen Hochschule zu München ausgeführt. Es ist mir eine angenehme Pflicht, den Vorständen des Institutes Herrn Professor Dr. C. Heinke und Herrn Professor J. Ossanna für die bereitwillige Überlassung der Hilfsmittel des Institutes, sowie für das wohlwollende Interesse an der Durchführung der Arbeit auch an dieser Stelle meinen ergebensten Dank auszusprechen.

München, im März 1910.

F. Hirschauer.

Inhaltsübersicht.

Seite

Einleitung 7

Allgemeines über Durchführung der Versuche 9

Versuche über die Magnetisierung mit Gleichstrom 10

Versuche über die Magnetisierung mit Wechselstrom 14

Meßanordnung 15

Durchführung der Versuche 17

Auswertung der Versuche 20

Diskussion der Gleichstromversuche 23

Diskussion der Wechselstromversuche 24

Bestimmung des effektiven Magnetisierungsstromes 30

Zahlentafeln 34

Tafeln der Abbildungen.

Die Permeabilität des Eisens bei Magnetisierung durch technische Wechselströme.

Obwohl über Wechselstrommagnetisierung von Eisen schon zahlreiche Untersuchungen angestellt wurden, ist die Kenntnis der Wechselstrompermeabilität im Verhältnis zur Permeabilität bei Magnetisierung durch Gleichstrom noch mit großen Unsicherheiten behaftet; die einzelnen Arbeiten haben zum Teil direkt widersprechende Ergebnisse geliefert. Hinsichtlich der Angabe der bekannt gewordenen Untersuchungen soll auf die Ausführungen von Heinke im Handbuch der Elektrotechnik* verwiesen werden. Dort werden auch die gegensätzlichen Resultate einiger Forschungen angeführt und die vorhandene Lücke hervorgehoben, was den Verfasser zur vorliegenden Arbeit veranlaßte. Außerdem findet sich in der jüngsten Literatur eine eingehende Arbeit über Wechselstrommagnetisierung, die in ihren Ergebnissen von den früheren Arbeiten zum großen Teil abweicht und als neueste Forschung besondere Beachtung verdient. Es ist dies die Untersuchung von Gumlich und Rose: Über die Magnetisierung durch Gleichstrom und durch Wechselstrom.** Die Ausführung derselben und ihr hauptsächliches Ergebnis soll hier kurz angegeben werden.

Geschlossene Eisenringe wurden durch Wechselstrom von 50 Perioden magnetisiert und aus Spannungs- und Strommessung die zusammengehörigen Induktionen und magnetisierenden Kräfte berechnet. Die hiezu erforderlichen Form- bezw. Scheitelfaktoren der Spannungs- bezw. Stromkurven wurden mit dem Franke'schen Kurvenindikator ermittelt. (Einige aus Strom- und Spannungskurven unmittelbar abgeleitete Hystereseschleifen sind quantitativ nicht verwertet.) Die erhaltenen Magnetisierungskurven für Wechselstrom sind verglichen mit der ballistisch aufgenommenen jungfräulichen (Null-) Kurve, die als statische Magnetisierungslinie angenommen

* Heinke, Handb. d. El. I, 2, Abschnitt V.
** E. T. Z. 1905, 503 u. 403.

wird. Das Hauptergebnis der Versuche ist, daß die Magnetisierungskurve für Wechselstrom von 50 Perioden bis zu einer Induktion von B = 12 000 bezw. 14 000 unterhalb der statischen Magnetisierungslinie liegt und bei höheren Induktionen mit ihr zusammenfällt. Die geringere Magnetisierbarkeit durch Wechselstrom bei Induktionen unter 12 000 bezw. 14 000 wird auf magnetische Nachwirkung zurückgeführt.

Sollte in der Klärung der hier in Frage kommenden Erscheinungen weiter gegangen werden, so blieb nur übrig, den gesamten Vorgang der Wechselstrommagnetisierung, also den vollständigen Verlauf der auftretenden Ursache (H) und der dadurch bedingten Wirkung (B) experimentell zu bestimmen, d. h. die zur eindeutigen Ermittlung der Hystereseschleifen erforderlichen Strom- und Spannungskurven in meßtechnisch verwertbarer Form aufzunehmen. Dieser Weg wurde zur Lösung des Problems bei vorliegender Arbeit eingeschlagen. Daß man bis jetzt davon Abstand genommen hat, hat wohl seinen Grund in der Schwierigkeit der erwähnten Kurvenaufnahmen.

Durchführung der Versuche.

Zur Erzielung von eindeutigen Versuchsergebnissen war es nötig, Korrekturen für die das Resultat unmittelbar bestimmenden Messungen möglichst zu vermeiden. Damit war sowohl eine Richtschnur für die Durchführung der Messungen gegeben, als auch die Form des Versuchsobjektes bestimmt. Es konnte nur ein geschlossener Eisenkörper in Frage kommen. Da bereits bekannt war, daß etwa auftretende Wirbelströme jedenfalls eine Einwirkung auf die Wechselstrommagnetisierung ausüben würden, lag der Gedanke nahe, den Versuchskörper so zu wählen, daß die Wirbelströme möglichst ganz unterdrückt würden; vom technischen Standpunkt aus war es jedoch vorzuziehen, mehr den praktisch häufiger vorliegenden Fall zu wählen und dabei ihren Einfluß kennen zu lernen.* Es wurde deshalb ein Versuchskörper benutzt, der bereits im Laboratorium vorhanden war** und die gewünschten Eigenschaften besaß. Es war ein aus ca. 0,5 mm dickem Dynamoblech von Capito und Klein aufgebautes Ringpaket. Die einzelnen Ringe desselben waren aus 2 größeren Blechtafeln ausgeschnitten und jeder für sich gut mit Schellack überzogen worden; das ganze Paket wurde durch Baumwollband zusammengehalten. Darüber wurden die erforderlichen Wicklungen aufgebracht. Die genauen Abmessungen des Versuchskörpers sind: Zahl der Blechringe: 28; Dicke derselben: 0,54 mm; äußerer Durchmesser: 150 mm; innerer Durchmesser: 118 mm; somit gesamter Eisenquerschnitt: 2,42 qcm; Eisenvolumen: 102 ccm. Die Wicklungen sollen bei den einzelnen Versuchen angegeben werden.

Sämtliche Versuche wurden an einem Versuchsobjekt durchgeführt, da durch diese Beschränkung eine gründlichere Untersuchung ermöglicht war. Außerdem erscheint diese Beschränkung aus dem

* Von letzterem Gesichtspunkte aus die Wahl des Versuchsobjektes zu treffen, wurde dem Verfasser auch von Professor Ossanna geraten.

** Der Ring war schon vor längerer Zeit für Versuchszwecke nach Angaben von Professor Dr. Heinke hergestellt worden und wurde dem Verfasser frdl. zur Verfügung gestellt.

Grunde berechtigt, daß alle früheren Arbeiten, in welchen die Untersuchungen auf verschiedene Eisensorten, darunter auch auf legiertes Eisenblech, ausgedehnt wurden, stets dasselbe magnetische Verhalten in qualitativer Hinsicht, für sämtliche benutzten Eisenproben ergeben haben, so daß also die großen Abweichungen in den Resultaten der verschiedenen Autoren jedenfalls durch die Meßmethoden und Meßbedingungen hervorgerufen wurden.

Versuche über die Magnetisierung mit Gleichstrom.

Zur Ermittlung der magnetischen Eigenschaften des vorliegenden Eisenringes bei Magnetisierung durch Gleichstrom wurde die ballistische Methode nach der in Abb. 1. angegebenen Schaltung angewendet; mit derselben wurden die Kommutierungskurve, die jungfräuliche Kurve und einige Hystereseschleifen aufgenommen.*

Bei der Messung magnetischer Felder mit ballistischem Galvanometer wird der Zusammenhang zwischen dem Ausschlag des Galvanometers α und der durch rasche Änderung des Magnetisierungsstromes bewirkten Feldänderung $(N_2—N_1)$ bekanntlich gegeben durch die Gleichung:

$$N_2 — N_1 = \frac{10^8 \cdot R}{n} \cdot C_b \cdot \alpha$$

$$\text{bzw. } B_2 — B_1 = \frac{10^8 \cdot R}{q \cdot n} \cdot C_b \cdot \alpha$$

wenn mit C_b die ballistische Konstante des Galvanometers, mit n die Windungszahl der Induktionswicklung, mit R der Gesamtwiderstand des Induktionsspulenkreises und mit q der Querschnitt des Kraftlinienweges bezeichnet wird. Dabei muß die Zeit der Kraftlinienänderung im Verhältnis zur Schwingungsdauer des Galvanometers kurz sein.

Da sowohl bei Aufnahme der jungfräulichen Kurve, wie bei Bestimmung der Hystereseschleifen die magnetisierende Kraft sprungweise geändert wird, kann der zugehörige Induktionssprung nach dieser Gleichung berechnet werden. Für die Ermittlung der Kommutierungskurve, bei welcher durch Wenden des Magnetisierungsstromes das Feld von einem bestimmten positiven Wert $(B_2 = + B)$

* Die hier benutzten Meßmethoden und Bezeichnungen der aufgenommenen Charakteristiken sind im Handb. d. El. II, 4 eingehend beschrieben und sollen deshalb nur kurz angedeutet werden.

sofort auf den gleich großen negativen ($B_1 = -B$) gebracht wird, geht sie über in:

$$B = \frac{10^8 \cdot R}{2 \cdot q \cdot n} \cdot C_b \cdot \alpha$$

und gibt dann direkt die zu dem verwendeten Strom bezw. der ihm entsprechenden magnetisierenden Kraft gehörige Induktion an.

Die magnetisierende Kraft berechnet sich aus dem abgelesenen Strom zu:

$$H = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{J \cdot w}{l}$$

wobei w die Zahl der Windungen der Magnetisierungswicklung und l die Länge des Kraftlinienweges ist. Für den Kreisring ist für l der sogenannte „harmonische Umfang"* einzusetzen:

$$l = \frac{l_a - l_i}{\ln\left(\frac{l_a}{l_i}\right)}$$

dieser beträgt für den vorliegenden Ring 41,8 cm.

Zur Durchführung der angegebenen Messungen wurde das verwendete Ringpaket mit einer Induktionswicklung von n = 210 + 194 Windungen und einer Magnetisierungswicklung von w = 306 Windungen versehen. Die Wicklungen waren gegeneinander und gegen das Eisen gut isoliert und wurden in der angegebenen Reihenfolge gleichmäßig über den Umfang verteilt auf den Ring aufgebracht. Der Durchmesser des umsponnenen Kupferdrahtes betrug 0,7 bezw. 1,5 mm. Die Widerstände waren 1,01 + 0,705 Ohm bezw. 0,306 Ohm bei 19° C. Der durch den Auftrag der Wicklungen und der Isolation bedingte, für den Kraftlinienverlauf dem Eisenquerschnitt parallelgeschaltete Luftquerschnitt betrug ungefähr das 3,3fache des Eisenquerschnitts (gemessen bis zur äußersten Wicklung), kann also erst bei einer Permeabilität von ca. 300 abwärts einen Fehler von über 1% verursachen.

Als Ampèremeter wurde ein Milli-Volt- und Ampèremeter von S. & H. mit entsprechenden Nebenschlüssen verwendet.

Das Galvanometer war ein Drehspuleninstrument von Edelmann mit einer Schwingungsdauer $\tau = 10{,}4$ Sekunden. Es hatte bei 15° C. einen Widerstand von 250 Ohm. Die Stromkonstante betrug bei einem Skalenabstand von 137 cm für $\alpha = 180$ Doppelmillimeter $C_g =$

* Handb. d. El. II, 4, 157.

$1{,}90 \cdot 10^{-9}$; für andere Ausschläge ergaben sich für dieselbe folgende Korrekturen:

für α:	75	125	186	206	245	290
Korrektur in %:	— 0,26	— 0,42	+ 0,1	+ 0,26	+ 0,52	+ 0,84

Sie halten sich in mäßigen Grenzen und sind für ballistische Ausschläge jedenfalls noch etwas geringer.

Die aus den Einzelfaktoren nach der Gleichung:

$$C_b = C_g \cdot \frac{\tau}{\pi} \cdot k \frac{1}{\pi} \operatorname{arc\,tg} \frac{\pi}{\lambda}$$

ermittelte ballistische Konstante betrug für offenes Galvanometer: $C_{b\,\infty} = 6{,}52 \cdot 10^{-9}$ (der gleiche Wert wurde durch eine Kontrollmessung mit Kondensator* gefunden); für den durch den Widerstand R geschlossenen Galvanometerstromkreis sollen nur die später verwendeten Werte angeführt werden, nämlich:

$$C_b \text{ (für } R = 100000) = 6{,}54 \cdot 10^{-9}$$
$$C_b \text{ (für } R = 20000) = 6{,}67 \cdot 10^{-9}$$
$$C_b \text{ (für } R = 5000) = 7{,}10 \cdot 10^{-9}.$$

Sämtliche Werte gelten für den Ausschlag $\alpha = 180$ und sind für andere Ausschläge entsprechend der Stromkonstanten zu reduzieren.

Selbstverständlich wurden sowohl die hier erforderlichen, wie auch die folgenden Messungen sehr sorgfältig ausgeführt und in Zweifelsfällen genügend oft wiederholt; die benutzten Instrumente wurden zum Teil kompensiert, zum Teil mit unmittelbar vorher kompensierten Instrumenten geeicht.

Die Kommutierungskurve.

Die für die Kommutierungskurve auf die angedeutete Weise erhaltenen Werte sind in Zahlentafel 1 zusammengestellt. Von den Galvanometerausschlägen ist dabei immer nur das Mittel aus den nach links und rechts beobachteten Werten angegeben. Vor jeder Ablesung wurde mehrmals kommutiert und dann stets sehr angenähert derselbe Wert erhalten. Der Zusammenhang von B und H nach vorliegender Versuchsreihe ist in Abb. 31 graphisch aufgetragen, ebenso die entsprechende Kurve für die Werte der Permeabilität μ, welche sich auf die mittlere Induktion im Eisenquerschnitt beziehen.

* Heinke, Elektrotechn. Praktikum, Wechselstrommessungen und magnet. Messungen § 124.

Die Erfüllung der Bedingung, daß die Kraftlinienänderung in einer gegenüber der Schwingungsdauer des Galvanometers genügend kurzen Zeit erfolgen muß, ist aus der Größe der Zeitkonstanten zu erkennen, welche bekanntlich in dem Verhältnis der Selbstinduktion zum Ohm'schen Widerstand eines Stromkreises ($T = \frac{L}{R}$) die Zeit in Sekunden angibt, in welcher nach dem Einschalten der Strom ca. zwei Drittel seines Endwertes erreicht; den Endwert bis auf 1% erreicht er nach 4,6 . T Sekunden. Da im vorliegenden Fall der Widerstand des Stromkreises bei maximaler Stromstärke (7,4 Amp.) am kleinsten war, nämlich etwa 0,54 Ohm (die Stromquelle bestand aus 2 Akkumulatorenzellen), so ist hiedurch hinsichtlich der Kommutierungszeit der ungünstigste Fall gegeben. Bei der vorhandenen Induktion B = 16 800 beträgt die Selbstinduktion des Eisenringes $L = \frac{N \cdot w}{J} \cdot 10^{-8}$ = 0,0168 Henry und somit T = 0,031 Sekunden; die Einschaltung des Stromes erfordert also ca. 4,6 . T = 0,143 Sekunden d. h. eine gegenüber der Schwingungsdauer des Galvanometers von 10,4 Sekunden hinreichend kleine Zeit. Die Ausschaltezeit ist durch die Schnelligkeit des Kommutierens bedingt, also ohnehin klein.

Die jungfräuliche Kurve.

Bei der jungfräulichen oder Null-Kurve geht man vom unmagnetischen Zustand aus und steigert die magnetisierende Kraft in kleinen Sprüngen. Die zu dem jeweiligen Wert derselben gehörige Induktion ergibt sich dann aus der eingangs angeführten Gleichung durch Summierung der einzelnen Induktionssprünge. Für diesen und ebenso für die folgenden Versuche wurde der Widerstand R. W. mit der entsprechenden Anzahl von Abstufungen versehen. Die Entmagnetisierung wurde durch Wechselstrom bewirkt, der von etwa 7 Ampère allmählich bis auf eine verschwindend kleine Stromstärke verringert wurde; trotzdem mußte der Versuch ziemlich häufig wiederholt werden, da der unmagnetische Zustand nicht immer gleich angenähert erreicht wurde. Die in Zahlentafel 2 zusammengestellten Werte sind für den unteren Teil der Kurve aus je 16 Ablesungen, für den oberen aus je 8 Ablesungen als Mittelwerte erhalten. Die daraus abgeleitete B, H-Kurve ist in Abbildung 31 strichpunktiert eingetragen. Auf einen Vergleich dieser Kurve mit der oben gefundenen Kommutierungskurve soll später noch näher eingegangen werden.

Aufnahme der Hystereseschleifen.

Bei Aufnahme der Hystereseschleifen wurde nach mehrmaligem Durchlaufen derselben bei dem Höchstwert der Induktion mit der sprungweisen Änderung derselben angefangen und dann die Ablesung so lange fortgesetzt, bis die vollständige Ummagnetisierung beendet war. Da die beiden Zweige der Schleife abgesehen vom Vorzeichen identisch sein müssen, wurden von den für sie gefundenen entsprechenden Ausschlägen die Mittel genommen und damit die Resultate von etwaigen Nullpunktverlegungen des Galvanometers unabhängig gemacht. Die Versuche wurden für 3 verschiedene Induktionen mit kleinen Sprüngen und für die höchste derselben noch mit größeren Sprüngen durchgeführt. Sie sind in den Zahlentafeln 3 bis 6 zusammengestellt. Die mit kleinen Sprüngen aufgenommenen Schleifen sind ausgezogen, die mit größeren Sprüngen ermittelte durch kleine Dreiecke angedeutet in Abb. 31 eingetragen.

Versuche über die Magnetisierung mit Wechselstrom.

Wie schon in der Einleitung erwähnt, wurden für die Untersuchung der Wechselstrommagnetisierung die vollständigen Hystereseschleifen, die bei einer bestimmten Ummagnetisierung auftreten, experimentell ermittelt. Dazu mußten die zeitlich zusammengehörigen Momentanwerte der magnetisierenden Kraft und der Induktion gemessen werden. Die Momentanwerte der magnetisierenden Kraft werden durch Aufnahme der Stromkurve unmittelbar erhalten, der Verlauf des Feldes dagegen muß indirekt aus einer von demselben induzierten Spannung bestimmt werden; es ist also die Aufnahme von Strom- und Spannungskurven erforderlich.

Zu diesem Zweck wurde der Ring wieder mit verschiedenen Wicklungen versehen, deren Windungszahlen so gewählt wurden, daß eine möglichst vorteilhafte Ausnützung der zur Verfügung stehenden Maschinenspannungen und Instrumente gewährleistet war. Die zur Messung der Spannungskurven aufgebrachte Hilfs- oder Sekundärwicklung bestand aus 100 + 200 + 400 = 700 Windungen seidenumsponnenen Kupferdrahtes von 0,4 mm Durchmesser und einem gesamten Widerstand von 6,8 Ohm bei 20° C.; die einzelnen Abteilungen derselben waren gleichmäßig über den ganzen Ringumfang verteilt. Die darüber angeordnete Magnetisierungs- oder Primärwicklung hatte

931 Windungen mit einem Drahtdurchmesser von 0,8 mm und einem Widerstand von 2,68 Ohm bei 20° C. Der dem Eisenquerschnitt parallelgeschaltete Luftquerschnitt betrug nur das zweifache des ersteren.

Meßanordnung.

Zur Gewinnung einwandfreier Resultate mußten die erforderlichen Strom- und Spannungskurven sowohl der Größe und Form, als auch der zeitlichen Phasenverschiebung nach so genau ermittelt werden, daß sie einer quantitativen Auswertung zugänglich waren. Es konnte also nur eine Methode mit punktweiser Ermittlung d. h. ein Kontaktmacherverfahren in Anwendung kommen. Das Prinzip und die Wirkungsweise des benutzten Kontaktmachers geht aus dem Schaltungsschema (Abb. 2.) hervor.* Der Kontaktapparat selbst war konstruktiv gut durchgebildet,** erforderte aber trotzdem während der Versuche die sorgfältigste Behandlung und Überwachung; die Laufflächen mußten von Zeit zu Zeit neu abgeschliffen werden. Der Apparat war direkt mit dem Generator gekuppelt; die Verschiebung der Bürsten konnte an einer Gradteilung sehr genau abgelesen werden. Als Kapazität wurde ein Glimmerkondensator von S. & H. mit 0,1 Mf. verwendet. Das Galvanometer von S. & H. hatte 400 Ohm Eigenwiderstand und außerdem einen eingebauten Vorschaltwiderstand von 9600 Ohm; bei einem Gesamtwiderstand von 10 000 Ohm war es aperiodisch gedämpft. Zur Erzielung der entsprechenden Empfindlichkeiten wurde es in Parallelschaltung zu einem variablen Stöpselrheostaten angeschlossen. Die Stromkonstante des Galvanometers war $C_g = 1{,}1 \cdot 10^{-9}$, seine Schwingungsdauer 6,3 Sekunden. Eine Skalenkorrektion war für die verwendeten Ausschläge zwischen 0 und 250 Doppelmillimetern nicht erforderlich, was das Instrument für die vorliegenden Messungen besonders geeignet machte.

Die ganze Kontaktmacherschaltung konnte durch Umschaltung für Strom- und Spannungskurven benutzt werden. Da Spannungen von mehr als 10 Volt sich für den Kontaktmacher als ungünstig er-

* Über die benutzte Meßanordnung für den Kontaktmacher siehe auch Handb. d. El. II, 4, 53.

** Bei der konstruktiven Durchbildung des Kontaktmachers wurden die seit längerer Zeit am Elektrotechn. Inst. d. Techn. Hochschule (in dessen Werkstätte er auch ausgeführt wurde) besonders durch Herrn Assistent Kelber gemachten Erfahrungen benutzt.

wiesen, mußte bei Aufnahme der Spannungskurven für jeden Versuch ein passender Teil der Hilfswicklung gewählt werden; diese war deshalb, wie oben angegeben, entsprechend unterteilt. Die Anwendung einer Spannungsteilung durch einen großen Ohm'schen Widerstand hätte wegen der parallel geschalteten Kapazität erhebliche Fehler in der Phasenverschiebung verursacht. Die Belastung der Sekundärwicklung durch die Kapazität, welche bei 50 Perioden ca. 32 000 scheinbaren Ohm und bei niedrigeren Periodenzahlen einem noch höheren Wert entsprach, konnte als verschwindend klein betrachtet werden. Zur Aufnahme der Stromkurven wurde der Primärwicklung ein rein Ohm'scher Widerstand in der Größe von ca. 2 bis 30 Ohm vorgeschaltet und an diesen die Meßschaltung angelegt. Derselbe wurde durch entsprechende Parallelschaltung aus einem Widerstandsband der Firma Schniewindt gebildet; bei einigen Versuchen wurde auch direkt der Hitzdraht des Ampèremeters verwendet. Wegen der relativen Kleinheit dieser Widerstände konnte hier ein Meßfehler durch die parallelgeschaltete Kapazität nicht auftreten. Die Schaltung war so eingerichtet, daß die Galvanometerausschläge für die jeweilige Meßanordnung nach Ampère und Volt unmittelbar mit Gleichstrom geeicht werden konnten. Der Effektivwert der induzierten Spannung wurde zur Vermeidung einer sekundären Belastung mit einem elektrostatischen Voltmeter (Multicellularvoltmeter von H. & Br.) und bei den niedrigeren Spannungswerten mit einem Elektrometer von Edelmann gemessen. Die Schaltung auf der Primärseite des Versuchsringes wurde ebenfalls so angeordnet, daß eine Korrektur für die Stromkurve und den am Instrument abgelesenen Effektivwert des Magnetisierungsstromes nicht erforderlich war. Als Ampèremeter wurden Hitzdrahtinstrumente von H. & Br. mit den entsprechenden Meßbereichen verwendet. Das Wattmeter von Weston (Meßb. 2 Amp., 75 V., für $\cos \varphi = 0{,}5$ voller Ausschlag), welches nur als Kontrollinstrument diente, da die Leistungen genauer aus den Kurven ermittelt werden konnten, war so geschaltet, daß es außer den Eisenverlusten des Ringes die Joule'schen Verluste von Primärwicklung, Ampèremeter, Wattmeterstromspule und Abzweigwiderstand für die Stromkurve mit anzeigte. Zur richtigen Bestimmung dieser Korrektionsgrößen konnte der ganze betreffende Stromkreis an eine Gleichspannung angelegt und der eintretende Gesamtspannungsabfall bestimmt werden. Die Spannungsspule des Wattmeters blieb ständig eingeschaltet. An der Ringwicklung war zur Erkennung des stationären Zustandes ein in Staniol

gebettetes Thermometer befestigt; das Staniol war vor zu großer Wärmeabgabe nach außen durch eine Wollumhüllung geschützt.

Zur Erzielung möglichster Sinusform wurde die Spannung nicht unmittelbar von den Klemmen des Generators entnommen, sondern an diese zunächst ein Ohm'scher Widerstand mit vorgeschalteter Selbstinduktion zur Unterdrückung der höheren Harmonischen im Generatorstrom angeschlossen und die verwendete Spannung von dem Ohm'schen Widerstand abgenommen. Der für die Ringmagnetisierung abgezweigte Strom war gegenüber dem Hauptstrom stets so klein, daß er die Form des Spannungsabfalls am Ohm'schen Widerstand nicht beeinflußen konnte. Daß trotzdem die in der Hilfswicklung induzierte Spannung keine reine Sinusform aufweist, bewirken die im Primärstromkreis des Ringes vorhandenen Ohm'schen Widerstände.

Für die Versuche mit spitzer Form der Spannungskurve wurde die Meßschaltung in Serie mit einer größeren Selbstinduktion unmittelbar an die Generatorklemmen angelegt.

Als Motor und Generator wurden zwei vierpolige Umformer benutzt; die Spannung wurde wegen des Wegfallens der dritten Harmonischen stets von zwei für Abnahme von Dreiphasenstrom angeschlossenen Schleifringen abgenommen.

Die Messung der Periodenzahl erfolgte durch Frequenzmesser von Hartmann & Kempff für die Versuche von 15 bis 50 Perioden; derselbe wurde unter Zwischenschaltung eines Spannungswählers nach Heinke* zur bequemen Regulierung seiner Empfindlichkeit an den Motorumformer angeschlossen; bei den Versuchen mit 7,5 Perioden wurde die Tourenzahl mit einem direkt gekuppelten Präzisionstachometer von Horn gemessen.

Durchführung der Wechselstromversuche.

Nach passender Wahl des Abzweigwiderstandes für die Stromkurve (R) und der für die Aufnahme der Spannungskurve geeigneten Windungszahl der Hilfswicklung (n_k), sowie einer entsprechenden Galvanometerempfindlichkeit wurde die Meßanordnung mit Strom beschickt und dann so lange gewartet, bis das an die Ringwicklung angelegte Thermometer keine wesentliche Zunahme der Temperatur (t_r) mehr anzeigte, bis also der stationäre Zustand eingetreten war; dies dauerte gewöhnlich 2 bis 3 Stunden. (Die mittlere Ablesung an

* E. T. Z. 1902 Heft 40.

diesem Thermometer während eines Versuches ist in den Zahlentafeln mit t_r, die mittlere Zimmertemperatur mit t_z bezeichnet.) Dann erst wurde mit den Ablesungen der Instrumente und den Kurvenaufnahmen begonnen. Für eine Bürsteneinstellung wurden unmittelbar aufeinanderfolgend die Ausschläge für die Spannungs- und Stromkurve und zwar jeder Ausschlag auf beiden Seiten der Galvanometerskala beobachtet. Während des Versuches wurde die Tourenzahl sowie der Magnetisierungsstrom vollkommen konstant gehalten und zwar letzterer nur durch entsprechende Regulierung der Generatorerregung. Nach den für die Kurven erforderlichen Ablesungen wurden die schon zu Anfang am Wattmeter und Voltmeter abgelesenen Werte nochmals kontrolliert und dann die Meßanordnung mit Gleichstrom in der Größe des Magnetisierungsstromes beschickt zur Messung der gesamten Joule'schen Verluste und des Widerstandes der Ringbewicklung. Anschließend erfolgte für jeden Versuch die Eichung der Galvanometerausschläge bei der vorhandenen Meßanordnung und Tourenzahl nach Ampère und Volt und zwar für je ungefähr sechs über den benutzten Meßbereich verteilte Ausschläge. Die damit erhaltenen einzelnen Werte der Konstanten zeigten stets eine sehr nahe Übereinstimmung. (Die in den Zahlentafeln angegebenen Mittelwerte sind mit C_{Volt} und C_{Amp} bezeichnet.)

Mit angenähert sinusförmiger Spannung wurden Versuche bei 50, 40, 25, 15 und 7,5 Perioden ausgeführt. Die unterste Grenze von 7,5 Perioden war durch die Instrumente gegeben; schon bei dieser Periodenzahl mußte die Benutzung der Galvanometerskala auf ca. 120 Doppelmillimeter eingeschränkt werden, um die Störung durch die periodischen Schwankungen des Lichtzeigers noch erträglich zu machen; außerdem traten auch schon am Hitzdrahtinstrument merkliche periodische Zeigerschwankungen wegen der innerhalb der einzelnen Perioden erfolgenden Abkühlungen auf; die Maschinen selbst hätten eine noch geringere Periodenzahl zugelassen. Bei jeder Periodenzahl wurden 5 Versuche mit verschiedenen Maximalinduktionen vorgenommen und zwar für etwa 6000, 9000, 11 500, 14 200 und 16 000 Kraftlinien auf den qcm.

Bei spitzer Spannungskurvenform sind zwei Versuche ausgeführt worden bei 50 Perioden und maximalen Induktionen von 11 250 und 15 720.

Die erhaltenen Resultate sind in den Zahlentafeln 7 bis 33 zusammengestellt und die gefundenen Stromkurven (mit A bezeichnet)

und Spannungskurven (mit B bezeichnet) in den Abb. 3 bis 27 bezw. 29 und 30 aufgetragen. (Für die Spannung sind die der induzierten Spannung das Gleichgewicht haltenden Komponenten der Klemmenspannung aufgetragen.) Von den abgelesenen Galvanometerausschlägen sind nur die Mittel aus den nach links und rechts gemachten Ablesungen, die wegen der Thermoströme häufig um einige Doppelmillimeter verschieden waren, angegeben. Da die um 180 elektrische Grade von einander entfernten Amplituden der Kurven entgegengesetzt und gleich groß sein müssen, wurden die Mittelwerte derselben zur Aufzeichnung der Kurven benutzt, die wirklich abgelesenen Werte aber als Punkte (kleine Kreise) eingetragen. Wie aus den Abbildungen zu ersehen ist, treten bei einem Teil der Aufnahmen Abweichungen überhaupt nicht auf, bei den andern halten sie sich in mäßigen Grenzen. Sie rühren größtenteils von der Abnützung der Kontaktmacherscheibe her und wurden nach neuem Abschleifen und Einlaufen derselben wieder kleiner. Nulldurchgänge und Maxima zeigen fast durchweg eine sehr befriedigende Übereinstimmung. (Die bei 40 Perioden aufgenommene Versuchsreihe war die erste und zeigt infolgedessen etwas größere Abweichungen als die andern.)

Eine Kontrolle der meßtechnischen Brauchbarkeit der Kurven war noch möglich durch die Ermittlung ihrer Effektivwerte, welche mit den von den Instrumenten direkt angezeigten Effektivwerten übereinstimmen mußten. Es wurden deshalb die Strom- und Spannungskurven der Versuche I bis XXV in Polarkoordinaten umgezeichnet und dadurch in bekannter Weise ihre Effektivwerte, und zwar zunächst in Galvanometerausschlägen gemessen, erhalten. Anstatt nun dieselben mit den durch die Gleichstromeichungen ermittelten Konstanten für Ampère und Volt zu multiplizieren und mit den Instrumentenablesungen direkt zu vergleichen, wurde vorgezogen, die Konstanten aus den Instrumentenablesungen und den nach Galvanometerausschlägen gefundenen Effektivwerten ein zweitesmal zu berechnen und die auf beide Arten erhaltenen Konstanten unmittelbar zu vergleichen. Die so gefundenen Werte sind neben den unmittelbar bestimmten Konstanten in den entsprechenden Zahlentafeln (7 bis 31) in Klammern angegeben. Sie ergeben durchweg sehr gute Übereinstimmungen, meist bis auf 1% und darunter. Wo der Elektrometerausschlag weniger als 10 Teilstriche betrug, nämlich bei $\tilde{E}_i$ unter 8 Volt, ist dieser Wert eingeklammert und das zweite C_{volt} fortgelassen worden, da die Ablesungen hier nur als rohe Kontrolle gelten können.

Auswertung der Wechselstromversuche.

Aus der Kurve der induzierten Spannung mußte zunächst der zeitliche Verlauf des Feldes ermittelt werden. Die aufgenommenen Spannungskurven sind nicht reine Sinuslinien; infolgedessen war nur eine punktweise Bestimmung der zugehörigen Feldkurven möglich nach der Grundgleichung:

$$e = - \frac{d N}{d t}$$

Diese Gleichung gibt das Maximum des Feldes an der Stelle des Nulldurchgangs der Spannungskurve und ermöglicht, durch Integration die einzelnen Momentanwerte des Feldes zu ermitteln.

Um dieselben zunächst in irgend einem einheitlichen Maßstab zu erhalten, wurde die betreffende Spannungskurve in vertikale Streifen von 5 mm Breite zerlegt. (In den Originalzeichnungen ist $1^0 = 1$ mm.) Der Flächeninhalt einer Spannungshalbwelle in qmm dividiert durch 5 mm gab die doppelte Maximalordinate der Feldkurve in mm, welche an der Stelle des Spannungsnulldurchganges — sie sei mit M bezeichnet (Abb. 3.) — zu errichten war. In demselben Maßstab war dann die Feldordinate für irgend einen Fußpunkt P gleich der maximalen Feldordinate minus der vom Punkt M bis zur Vertikalen durch P von der Spannungskurve eingeschlossenen Fläche dividiert durch 5 mm. Von Punkt M ausgehend — nach beiden Seiten hin — wurden deshalb die mittleren Höhen der Flächenstücke von 5 mm Breite abgelesen. Im annähernd geradlinigen Teil der Spannungskurve fallen sie mit der Spannungsordinate in der Mitte des betreffenden Streifens zusammen, im gekrümmten Teil können sie nach dem Augenmaß leicht abgeschätzt werden. Für die dem Maximum am nächsten liegenden Ordinaten wurden die Inhalte der hier Dreiecke bildenden Flächenstücke in qmm abgelesen und durch 5 mm dividiert. Auf diese Art wurde die punktweise Ermittlung der Feldkurve bis zu den Nulldurchgängen fortgesetzt. Da die letzteren um 180 elektrische Grade auseinander liegen müssen, bildeten sie noch eine Kontrolle für die Richtigkeit der Integration.

Aus der bekannten Gleichung:

$$B_{max} = \frac{\tilde{E}_N \cdot 10^8}{q \cdot 2 \cdot z \cdot n} \qquad (z = \text{Wechselzahl})$$

wurde der Maximalwert des Feldes in Kraftlinien auf den qcm berechnet und der oben benutzte Maßstab für die Feldkurve hiernach umgerechnet. Die Kraftlinienmittelwerte der Spannung $\tilde{E}_N$ wurden

durch Planimetrierung der Spannungskurven als mittlere Höhen der Spannungshalbwellen zunächst in Galvanometerausschlägen, dann durch Multiplikation mit C_{Volt} in Volt erhalten. Die Feldkurven sind (mit C bezeichnet) in die Abb. 3 bis 27, 29 und 30 eingetragen und in den Zahlentafeln 7 bis 33 enthalten. Eine Zusammenstellung für die zur Ermittlung von B_{max} dienenden Werte $\tilde{E}_N$ ist in Zahlentafel 34 angegeben.

Aus den Feldkurven und Stromkurven konnten jetzt die zeitlich zusammengehörigen Werte entnommen und daraus die Hystereseschleifen ermittelt werden. Die mittleren Momentanwerte der nach Galvanometerausschlägen aufgetragenen Stromkurven wurden mit der entsprechenden Stromkonstanten (C_{Amp}) multipliziert und dann die momentanen magnetisierenden Kräfte H wie bei den Gleichstromversuchen berechnet (Zahlentafel 7 bis 33). Die so gefundenen Hystereseschleifen sind in die Abb. 32 bis 37 eingetragen. In dieselben Abbildungen ist für den späteren Vergleich die mit Gleichstrom erhaltene Kommutierungslinie eingezeichnet. In Zahlentafel 34 ist eine Gegenüberstellung der nach der Kommutierungslinie und der aus den Wechselstromversuchen für gleiches H erhaltenen maximalen Induktionen erfolgt, sowie die Angabe der vorhandenen Differenzen in Prozenten.

Für die aus den aufgenommenen Kurven gewonnenen Hystereseschleifen wurde schließlich noch eine Kontrolle hinsichtlich der durch sie dargestellten Leistung durch Vergleich mit den Angaben des Wattmeters vorgenommen. Dazu wurden die Flächeninhalte mit Planimeter ermittelt; bei dem gewählten Maßstab (1 cm = 1000 Linien pro cm^2 und 1 cm = 2 H) war die Arbeit pro Cyklus:

$$A = \frac{1}{4\pi} \cdot 2 \cdot 1000 \cdot F \cdot V \text{ Erg}$$

wobei F den Flächeninhalt der ganzen Schleife in cm^2 und V das Eisenvolumen in cm^3 bedeutet. Durch Einführung der Periodenzahl ergab sich dann die Leistung in Watt. Zu dieser nur den Eisenverlust deckenden Leistung mußten noch die mit Gleichstrom gemessenen Joule'schen Verluste für den ganzen Primärstromkreis des Ringes addiert werden, wenn die vom Wattmeter angezeigte Leistung erhalten werden sollte. Da bis zur Ablesung der Gleichstromwerte die einzelnen Stromkreisteile notwendig schon eine geringe Abkühlung erfahren mußten, wird die berechnete Leistung gegenüber der am Wattmeter abgelesenen im allgemeinen etwas zu klein sein. Die in Zahlentafel 35 zusammen-

gestellten Werte zeigen eine recht gute Übereinstimmung, wenn man beachtet, daß die Wattmeterausschläge zum Teil über wenige Teilstriche, jedenfalls aber über das erste Viertel der Skala nicht hinauskamen. (Sie sind in die Zahlentafel mit eingetragen [eingeklammert]; der volle Wattmeterausschlag betrug 150 Teilstriche.) Wie schon oben erwähnt, war das Wattmeter nur für den Zweck einer überschlägigen Kontrolle eingeschaltet worden. Auf Grund dieser Überprüfung sowie besonders der früher angegebenen Kontrolle der Konstanten kann für die vorliegenden Wechselstromversuche wohl eine Meßsicherheit von 1 bis 2% angenommen werden.

Trennung der Verluste. Steinmetz'scher Exponent.

Zur Ermöglichung einer Trennung der in den Schleifen enthaltenen Hysterese- und Wirbelstromverluste wurden die ermittelten Arbeiten pro Zyklus zunächst für konstante Periodenzahl abhängig von B_{max} aufgetragen (Abb. 38.), dann hieraus die Beträge für gleiches B_{max} entnommen und als Funktion der Periodenzahl dargestellt (Abb. 39). Eine Zusammenstellung der bereits graphisch korrigierten Werte gibt Zahlentafel 36. Für die durch Extrapolation gewonnene Kurve der reinen Hystereseverluste wurde die Steinmetz'sche Gleichung aufgestellt zu:

$$V_h = 0{,}001022 \cdot B_{max}^{1{,}68} \text{ Erg}$$

wobei unter V_h die Hystereseverluste pro Periode und für 1 ccm Eisen zu verstehen sind. Die durch die Gleichung gegebene Kurve deckt sich dabei sehr genau mit der aufgetragenen. Würde man für den Punkt $B_{max} = 10\,000$ den Exponenten in der obigen empirischen Formel zu 1,6 annehmen, so würde sich die zugehörige Konstante zu 0,002 an Stelle von 0,001022 ergeben.

Die aus den drei mit Gleichstrom aufgenommenen Hystereseschleifen berechneten Verlustwerte, welche in Zahlentafel 35 unten angegeben sind, sind als kleine Doppelkreise in Abb. 38 mit eingetragen.

Die allgemeine Gleichung für die Wirbelstromverluste:

$$V_w = \xi \cdot \nu^2 \cdot B^x \cdot V$$

ergibt im vorliegenden Falle nach der empirischen Kurve bei 50 Perioden (Abb. 38):

$$V_w = 0{,}000322 \cdot B^{1{,}73}$$

wenn der Wert $V = 1$ ccm und $\nu = 1$ Zyklus eingesetzt wird.

Diskussion der Gleichstromversuche.

Die mit Gleichstrom ausgeführten Versuche zeigen nicht ohne weiteres ein eindeutiges Ergebnis; wir müssen sie daher einer eingehenderen Betrachtung unterwerfen. Das Ziel der Versuche war, die Magnetisierungskurve für Gleichstrom festzustellen, d. h. die Abhängigkeit der Induktion von der magnetisierenden Kraft ohne Berücksichtigung der Hysteresewirkung. Um diese bei einem ringförmigen Probestück zu finden, kann man entweder vom ganz unmagnetischen Zustand ausgehen und bei absatzweiser Steigerung des Magnetismus jedem Wert der magnetisierenden Kraft die dabei erhaltene Induktion zuordnen, oder man muß eine vollständige Ummagnetisierung vornehmen und die zusammengehörigen Maximalwerte von magnetisierender Kraft und Induktion auftragen, da im Umkehrpunkt eines Magnetisierungszyklus die Hysterese nicht auftreten kann. Die auf erstere Art erhaltene Kurve wird mit jungfräulicher oder Null-Kurve bezeichnet. Die zweite Kurve liefert die Verbindungslinie der Spitzen der für eine regelmäßige Ummagnetisierung erhaltenen Hystereseschleifen. Unmittelbar erhalten werden die diesen Spitzen entsprechenden Punkte bei Aufnahme der Kommutierungskurve, da hiebei die Schleifen von einem Maximum bis zum entgegengesetzten andern stetig durchlaufen werden und zwar abwechselnd die beiden Seiten der Schleife, bis schließlich eine derselben zur Angabe des Induktionswertes benutzt wird.

Es wäre nun zu erwarten, daß die drei Methoden genau dasselbe Resultat liefern würden. Es zeigt sich aber, daß die Spitzen der aufgenommenen Schleifen unter der Kommutierungslinie liegen, daß jedoch eine mit größeren Sprüngen bei der Steigerung der magnetisierenden Kraft aufgenommene Schleife ihre Spitze näher an derselben hat (Abb. 31). Damit wird die bekannte Tatsache* bestätigt, daß ein ruckweises Ummagnetisieren auf die Größe der Hystereseschleifen von Einfluß ist. Eine ruckweise U m magnetisierung, die hier nicht näher untersucht werden soll, muß also jedenfalls als Spezialfall angesprochen werden und scheidet auch mangels Eindeutigkeit als Grundlage unserer späteren Betrachtungen aus. Was nun die jungfräuliche Kurve anlangt, so finden wir nach den vorliegenden Messungen, daß sie mit der Kommutierungslinie praktisch zusammenfällt, denn die im oberen Teil vorhandene Abweichung von ca. 1% liegt innerhalb

* Gumlich und Schmidt, E. T. Z. 1900, 233.

der für die jungfräuliche Kurve in Anspruch zu nehmenden Meßsicherheit. Letztere wird nämlich dadurch sehr stark herabgedrückt, daß eine vollkommene Entmagnetisierung schwer erreichbar ist und für ein einmal magnetisiert gewesenes Eisen einen mehr oder weniger labilen Zustand darstellt.* Bei Entmagnetisierung durch kommutierten Gleichstrom wurden oft erheblich abweichende Werte für die Kurve gefunden, die auch viel weiter unterhalb der Kommutierungslinie lagen; erst bei Entmagnetisierung durch Wechselstrom, bis zu sehr kleinen Werten des Strommaximums herunter, war es möglich, besser übereinstimmende Werte bei Wiederholungen des Versuches zu erhalten. Daher kommt es auch, daß meistens die jungfräuliche Kurve unterhalb der Kommutierungslinie gefunden wird. Mit viel größerer Sicherheit ist die Kommutierungskurve zu erhalten; wenn nur darauf geachtet wird, daß einem Stromwert ganz verschiedene Induktionen entsprechen können, je nachdem vorher die eine oder andere Schleife ganz oder teilweise durchlaufen war, und daß deshalb die zur gewünschten Spitze gehörige regelmäßige Schleife vor der Ablesung entsprechend oft umfahren werden muß, so werden stets dieselben Werte gefunden und zwar ganz gleichgültig, ob vorher ein höherer oder tieferer Punkt aufgenommen war und ob etwas rascher oder langsamer kommutiert wurde, solange noch die für ballistische Messungen allgemein gültigen Bedingungen erfüllt bleiben. Wir werden daher in der Folge die Kommutierungslinie als die richtige Magnetisierungskurve für Gleichstrom ansehen.**

Diskussion der Wechselstromversuche.

Die Wechselstrommagnetisierung ist in erster Linie dadurch gekennzeichnet, daß bei derselben eine stetige, periodische Ummagnetisierung vorgenommen wird; es werden also immer die einer bestimmten Induktion entsprechenden Hystereseschleifen durchlaufen. Wenn von Nebenerscheinungen abgesehen wird, gibt auch hier die Verbindungslinie der für verschiedene Induktionen gefundenen Schleifenspitzen die Magnetisierungskurve, wenn die bei Diskussion der Gleichstrom-

* Darauf weisen auch Gumlich und Rose in der erwähnten Arbeit hin, benutzen aber die jungfräuliche Kurve als Grundlage beim Vergleich.

** Im Handb. d. El. I, 2, 293 wird von Heinke ebenfalls empfohlen, die Kommutierungskurve als die normale B, H-Kurve anzusehen.

versuche gegebene Definition für dieselbe beibehalten wird. Bei einer periodischen Ummagnetisierung kann nun sowohl die Geschwindigkeit der aufeinander folgenden Ummagnetisierungen als auch die Geschwindigkeit der Magnetisierung innerhalb einer Periode sehr verschieden sein, je nach Periodenzahl und Kurvenform des verwendeten Wechselstromes. Ob die Magnetisierbarkeit hievon abhängig ist, kann nur durch Versuche gefunden werden. Was zunächst den Einfluß der Periodenzahl anlangt, so zeigen die bei gleicher Kurvenform für Periodenzahlen von 7,5 bis 50 aufgenommenen Schleifen (Abb. 32 bis 36), daß ihre Spitzen innerhalb der durch die Meßgenauigkeit gezogenen Grenzen sämtlich auf einer Kurve liegen. Es ist also die Wechselstrommagnetisierungskurve von der Periodenzahl vollkommen unabhängig. Damit ist eigentlich auch schon die Frage nach dem Einfluß der Kurvenform gelöst, denn mit der Periodenzahl ändert sich auch die Geschwindigkeit der Magnetisierung innerhalb der Periode; wenn also eine Abhängigkeit von der Periodenzahl nicht vorhanden ist, wird auch die Kurvenform keinen Einfluß ausüben können. Die zwei mit stark abweichender Kurvenform ausgeführten Versuche (XXVI u. XXVII, Abb. 37) geben hiefür die Bestätigung; auch ihre Spitzen liegen auf der gemeinsamen Kurve.

Nun zeigt sich, daß diese Wechselstrommagnetisierungskurve sich mit der für die Magnetisierung durch Gleichstrom gefundenen Kurve deckt. Es ist also ein Unterschied in der Permeabilität bei Gleichstrommagnetisierung und Wechselstrommagnetisierung nicht vorhanden, solange die rein magnetischen Vorgänge betrachtet werden.

Die Vergleichswerte sind in Zahlentafel 34 angegeben, ebenso die Differenzen in %; die mittlere Abweichung beträgt 0,9%, die maximale 2,1%. (Würde man die als erste und damit etwas weniger sicher aufgenommene Versuchsreihe bei 40 Perioden [VI bis X] weglassen, so würden die angegebenen Zahlen noch geringer.) Bei der Schwierigkeit der angestellten Messungen liegen die Abweichungen jedenfalls innerhalb der Grenzen der Meßgenauigkeit und sind als klein zu betrachten, besonders wenn man beachtet, daß hier Resultate verglichen werden, die mit zwei vollkommen verschiedenen Meßmethoden erhalten sind. Aus den Wechselstromversuchen allein würde schon der Schluß zu ziehen sein, daß die Gleichstrommagnetisierungskurve mit der Wechselstrommagnetisierungskurve zusammenfallen

muß, nachdem eine Änderung der Periodenzahl in den Grenzen von 50 bis zu 7,5 keinen Einfluß auf dieselbe hat; es bilden also gewissermaßen die Wechselstromversuche auch eine Bestätigung für die Richtigkeit der Gleichstrommagnetisierungskurve.

Es soll nun auf die scheinbar abweichenden Fälle näher eingegangen werden. Wie schon in der Einleitung erwähnt, sind bei den durchgeführten Versuchen die Wirbelströme nur eingeschränkt, nicht aber vollkommen vermieden worden. Wir müssen also überlegen, ob und inwieweit sie unsere Resultate beeinflussen können. Wenn Wirbelströme in dem Versuchsring auftreten, so haben wir einen sekundär belasteten Transformator. Der aufgenommene Primärstrom ist jetzt nicht mehr reiner Magnetisierungsstrom, sondern enthält eine der Wirbelströmung entgegengesetzt gerichtete und gleichgroße Komponente (Abb. 40c). Da die aufgetragenen Hystereseschleifen aus Primärstrom und induzierter Spannung konstruiert sind, sind sie also ebenfalls durch die Wirbelströme beeinflußt. Wir wissen nun vorläufig nicht, ob die hier in Betracht kommenden Wirbelströme im wesentlichen als Ohm'sche Belastung aufgefaßt werden können oder ob sie mehr oder weniger phasenverschoben gegenüber der induzierten Spannung sind und wollen deshalb beide Fälle betrachten. In Abb. 40a ist für einen beliebigen Fall der durch die Wirbelströmung veranlaßte Primärstrom einmal als phasengleich mit der Spannung, einmal als phasenverschoben angenommen und zum reinen Magnetisierungsstrom addiert. Abgesehen von der selbstverständlichen Vergrößerung des Effektivwertes vom Primärstrom, welche die Verbreiterung der Schleifen bedingt, finden wir, daß in beiden Fällen eine Verschiebung des Maximums der Stromkurve nach links und gleichzeitig eine Vergrößerung desselben eintritt (es geht dies besonders aus dem in größerem Maßstab herausgezeichneten mittleren Teil (Abb. 40b) hervor). Wir erhalten also in beiden Fällen das Maximum des Primärstromes etwas früher als das Maximum des Feldes und damit in der konstruierten Schleife eine Abrundung der Spitze. Da die Wirbelströme bei wachsender Induktion im Verhältnis zum Gesamtstrom immer kleiner werden und mit abnehmender Wechselzahl mehr und mehr verschwinden, tritt die Abrundung nur bei niedrigen Induktionen und hohen Wechselzahlen deutlich hervor.

Um dies noch an Hand der Versuche nachzuprüfen, wurde aus zwei Versuchen bei verschiedenen Periodenzahlen (V u. XX) die Kurve des durch die Wirbelströmung bedingten Primärstromes konstruiert

(Abb. 28). Da nicht für genau dieselbe maximale Induktion zwei Hystereseschleifen aufgenommen worden waren, wurden die Stromkurven durch Interpolation auf gleiches B_{max} reduziert und ihre Differenz gebildet. Die gefundene Kurve gibt die der Wirbelströmung entsprechende Komponente, die bei 50 Perioden auftritt minus der bei 15 Perioden auftretenden, also einen bestimmten Teil des gesamten Wirbelstromes; vollkommen richtig wäre die Kurve allerdings nur dann, wenn die zwei mit eingetragenen Spannungskurven sich gänzlich decken würden. Die Abweichung derselben ist aber doch so gering, daß die gezeichnete Wirbelstromkurve für qualitative Betrachtungen noch brauchbar ist. Sie zeigt, daß im vorliegenden Fall die Wirbelströmung als induktionsfrei aufgefaßt werden kann und bestätigt durch ihre Form, daß die obigen Betrachtungen wirklich zutreffen, daß also die Abrundung der in Frage kommenden Schleifen auf Wirbelströme zurückzuführen ist.

Es soll hier ein Vergleich der gefundenen Ergebnisse mit dem Resultat der mehrfach erwähnten Arbeit von Gumlich und Rose angeschlossen werden. Zum Teil finden sich dort dieselben Ergebnisse, nämlich für Induktionen von 12 000 aufwärts eine Übereinstimmung mit der Gleichstrommagnetisierungskurve; dagegen wird für kleinere Induktionen als 12 000 bezw. 14 000 die Magnetisierungskurve für Wechselstrom unterhalb der für Gleichstrom geltenden gefunden und der Grund für die hier vorhandene geringere Magnetisierbarkeit in der Viskosität gesucht. Wenn man nun die verhältnismäßig nicht sehr großen Abweichungen (bei der Induktion 4000 wird von 8% gesprochen) betrachtet, so können sie leicht durch die weniger genaue Meßmethode hervorgerufen erscheinen, vielleicht auch durch die Unsicherheit in der Aufnahme der jungfräulichen Kurve mitbegründet sein. Was die Abrundung der Schleifen anlangt, so wird diese zum Teil ähnlich erklärt (für induktionsfrei angenommene Wirbelströme), zum Teil aber ebenfalls auf magnetische Nachwirkung zurückgeführt; das letztere offenbar aus dem Grunde, weil sich bei Aufnahme verschiedener zusammengehöriger Strom- und Spannungskurven die Phasenvoreilung der Stromspitze gegen Spannungsnulldurchgang als zu groß ergab und deshalb nicht mehr durch Wirbelströme allein hervorgerufen sein konnte. Nun sind aber die Kurvenaufnahmen nicht so genau, was aus den gegebenen beiden Abbildungen hervorgeht, daß diese zu große Verschiebung nicht ebensogut auf Unsicherheiten der Kurvenaufnahmen zurückgeführt werden könnte.

Aus den hier vorliegenden Versuchen geht jedenfalls hervor, daß eine Viskosität bei technischen Wechselstrommagnetisierungen nicht auftritt oder wenigstens keinen meßbaren Einfluß hat.

Diskussion der Versuchsergebnisse hinsichtlich der Eisenverluste.

Obwohl die durchgeführten Versuche hinsichtlich der Eisenverluste keine neuen Ergebnisse liefern konnten, wurden sie doch auch nach dieser Seite hin ausgewertet, da sie einerseits zur Charakterisierung des verwendeten Eisens beitragen, andererseits wegen der benutzten Meßmethode als Bestätigung für die sonst wattmetrisch gefundenen Tatsachen vielleicht doch einigen Wert besitzen.

Die zur Trennung der Eisenverluste für gleiches B_{max} abhängig von der Periodenzahl aufgetragenen Gesamtverluste liegen auf einer gekrümmten Linie (Abb. 39); dies ist durch die bei den einzelnen Versuchen vorhandenen erheblich verschiedenen Temperaturen des Ringes begründet; denn bei höherer Temperatur geht die Leitfähigkeit des Eisens zurück. Für kleinere Induktionen waren die Temperaturen bei verschiedenen Periodenzahlen weniger von einander abweichend, infolgedessen nähern sich die Kurven für kleineres B_{max} immer mehr der Geraden. Der letztere Umstand und ebenso die in Abb. 28 gefundene Kurve für die Wirbelströmung spricht gegen die Hereinziehung eines zweiten Grundes für die Krümmung dieser Linien, nämlich Induktivität der Wirbelströme; sie würde dasselbe bewirken, denn mit wachsender Periodenzahl müßte die Reaktanz größer werden. Eine Reduktion der gefundenen Werte auf gleiche Temperatur wurde unterlassen, da bei den großen Unterschieden eine den übrigen Ergebnissen entsprechende Genauigkeit doch nicht erreichbar gewesen wäre; die großen Temperaturverschiedenheiten selbst aber waren nicht zu umgehen, da die Versuche eben nur bei jeweils stationärem Zustand ausgeführt werden konnten. Weil nun jeder Punkt dem stationären Zustand entspricht und die Zimmertemperatur wenig verschieden war, wurde die Stetigkeit der Kurven durch die Temperaturunterschiede nicht beeinträchtigt; daher war auch die Extrapolation und die Trennung der Verluste zulässig. Diese ergab den Steinmetz'schen Exponent für die Formel der Hystereseverluste sehr nahe dem gewöhnlich benutzten Wert 1,6 nämlich zu 1,68; ebenso entspricht das mehr von der Eisensorte abhängige η einem mittleren Wert. Für die Abhängigkeit der Wirbelstromverluste von B_{max} für 50 Perioden ergibt sich der Exponent zu 1,7 statt 2,0 aus demselben oben angegebenen

Grund. Was den Einfluß der Kurvenform auf die Verluste anlangt, so muß für eine bestimmte maximale Induktion je nach dem Effektivwert der Spannung der Einfluß der Wirbelströme verschieden sein. Wir erhalten also, wie es auch die Versuche zeigen (Abb. 37), bei spitzer Spannungskurve eine etwas breitere Schleife bei derselben maximalen Induktion, da der Effektivwert größer und damit auch die Wirbelströmung größer wird als bei sinusartiger Spannung.

(Die hierdurch bedingte Vergrößerung des Schleifeninhaltes bei Versuch XXVI gegenüber Versuch I und XXVII gegenüber III läßt sich mit Hilfe der abgelesenen Effektivwerte $\tilde{E}_i$ angenähert auch rechnerisch ermitteln, wenn man von der Temperaturverschiedenheit der Eisenkerne bei diesen Versuchen absieht. Die Wirbelströme werden durch $\tilde{E}_i$ hervorgerufen, ihre Leistung ist also proportional $\tilde{E}_i^2$; es verhält sich daher:

$$\frac{\text{Watt}_{\text{wirb}}\ (\text{XXVI})}{\text{Watt}_{\text{wirb}}\ (\text{I})} = \frac{71{,}2^2}{60{,}5^2} = 1{,}38 \text{ und } \frac{\text{Watt}_{\text{wirb}}\ (\text{XXVII})}{\text{Watt}_{\text{wirb}}\ (\text{III})} = \frac{48{,}5^2}{44{,}0^2} = 1{,}21 .$$

B_{max} beträgt im Mittel für die Versuche I und XXVI: 15 780,
„ „ „ III „ XXVII: 11 340;

nach Abb. 38 ist bei 50 Perioden und angenähert sinusförmiger Spannung für diese Induktionen

die Wirbelstromarbeit:	die reine Hysteresearbeit:
600 000 Erg d. i. 3,0 Watt	1 180 000 Erg d. i. 5,90 Watt
bezw. 341 000 Erg d. i. 1,705 „	bezw. 680 000 „ „ 3,40 „ .

Mit den oben bestimmten Verhältniswerten wird somit:

$\text{Watt}_{\text{wirb}}$ (XXVI) = 4,14 bezw. $\text{Watt}_{\text{wirb}}$ (XXVII) = 2,06;

wird dazu die reine Hysteresearbeit addiert, so ergibt sich bei Versuch XXVI: 10,04 Watt, bei Versuch XXVII: 5,46 Watt für den Schleifeninhalt. Durch Planimetrieren der Schleifen wurden die wirklichen Werte erhalten zu: 9,88 Watt bezw. 5,43 Watt. Die wirklichen Werte müssen kleiner als die berechneten sein, da wegen der etwas höheren Temperatur bei Versuch XXVI und XXVII gegenüber I und III die Wirbelstromleistung etwas kleiner ist, als durch das obige Verhältnis angegeben wird.)

Umgekehrt werden natürlich die Hystereseverluste für gleichen Effektivwert bei spitzer Spannungsform kleiner, da wegen der stumpfen Feldform ein kleineres B_{max} auftritt.

Bestimmung des effektiven Magnetisierungsstromes bei Magnetisierung durch Wechselstrom.

Durch die Magnetisierungskurve ist der Zusammenhang zwischen maximaler Induktion und maximaler magnetisierender Kraft bezw. Maximalwert des erforderlichen Magnetisierungsstromes gegeben. In praktischen Fällen soll aber der zur Erzeugung eines bestimmten maximalen Feldes notwendige Magnetisierungsstrom in seinem Effektivwert nach Richtung und Größe ermittelt werden, so daß er als äquivalente Sinuswelle gedacht einer graphischen oder vektoriellen Behandlung gemeinsam mit den übrigen Wechselstromgrößen zugänglich wird. Zu diesem Zweck wird der Magnetisierungsstrom in Wattkomponente und wattlose Komponente zerlegt, jede derselben für sich bestimmt und dann ihre geometrische Summe gebildet. Die Wattkomponente wird aus den mit Hilfe der Steinmetz'schen Formeln berechneten Verlusten sofort in ihrem Effektivwert erhalten; der Effektivwert der wattlosen Komponente dagegen kann nicht ohne weiteres angegeben werden. Bekannt ist nur der Maximalwert derselben, der mit dem Maximalwert des gesamten Stromes übereinstimmt und deshalb der Magnetisierungskurve entnommen werden kann. Zur Bestimmung des Effektivwertes ist noch die Kenntnis des Scheitelfaktors erforderlich; derselbe wird gewöhnlich mit dem Wert $\sqrt{2}$, dem Scheitelfaktor der Sinuskurve, angenommen und so der Effektivwert berechnet. Obwohl auf diese Weise nur bei kleinen Induktionen annähernd richtige Werte erhalten werden, da die Kurvenform der wattlosen Komponente mit höherer Induktion immer mehr von der Sinuslinie abweicht, ist die angegebene Art der Berechnung doch meistens ausreichend, da der Magnetisierungsstrom in den häufigsten Fällen gegenüber dem Belastungsstrom sehr klein ist und war außerdem auch durch die bisherige Unsicherheit der Wechselstrommagnetisierungskurve begründet.

Unter Umständen kann aber doch eine genauere Bestimmung des Magnetisierungsstromes erwünscht sein und es soll deshalb näher untersucht werden, inwieweit eine solche möglich ist, wenn außer den Steinmetz'schen Koëffizienten nur die Magnetisierungskurve gegeben ist. Wir gehen zunächst von dem umgekehrten Fall aus, daß der gesamte Magnetisierungsstrom durch Feldkurve und Hystereseschleife gegeben sei und zerlegen ihn in seine Komponenten. In Abb. 41 ist Spannung und Feld sinusförmig angenommen (die Spannungskurve

ist nicht eingezeichnet) und der Strom auf bekannte Weise mit Hilfe der gegebenen Schleife konstruiert worden. Wegen der sinusförmigen Spannung kann hier nur die erste Harmonische des Stromes eine Leistung erzeugen und ihre mit der Spannung phasengleiche Komponente reine Wattkomponente des Magnetisierungsstromes sein. Die letztere ist in die Abbildung eingetragen* und gibt in ihrer Differenz gegenüber dem Gesamtstrom auch die Kurve der wattlosen Komponente an.

Eine angenähert richtige Zerlegung ist auch unter Annahme einer ideellen Magnetisierungskurve möglich. Als solche wird von Hopkinson** die in die Abbildung 41 strichliert eingezeichnete Mittellinie der Hystereseschleife angenommen. In dem vorliegenden Fall liefert sie als Wattkomponente eine sattelförmige Kurve, die außer der wirklichen reinen Wattkomponente noch eine dritte Harmonische enthält, so daß ihr gesamter Effektivwert gegenüber dieser etwas zu groß wird. Die wattlose Komponente unterscheidet sich ebenfalls wenig von der wirklichen; sie fällt etwas zu klein aus. Daß die Trennung eine willkürliche ist, ergibt sich daraus, daß die wattlose Komponente ebensogut für eine andere Kurve von O nach S bestimmt werden kann; die erhaltene Stromkurve muß immer wattlos sein, solange wir für aufsteigende und absteigende Magnetisierung dieselbe Magnetisierungskurve annehmen, also keine eine Fläche bildende Schleife durchlaufen. Als Beispiel hiefür ist die der strichpunktiert eingetragenen Kommutierungskurve entsprechende wattlose Komponente konstruiert worden; sie weicht etwas stärker von der wirklichen ab und ist größer als diese. Die Wattkomponente muß natürlich in ihrer mit der Spannung phasengleichen Komponente der ersten Harmonischen immer die reine Wattkomponente enthalten, da der Schleifeninhalt derselbe bleibt, wird aber in ihrem Effektivwert mehr oder weniger abweichen. Wenn wir nun die der wirklichen wattlosen Komponente entsprechende ideelle Magnetisierungskurve konstruieren, so erhalten wir eine überschlagene Schleife, welche planimetriert ebenfalls die Fläche Null ergibt, aber physikalisch nicht gedeutet werden kann. Daraus ist zu ersehen, daß die wattlose Komponente des Magnetisierungsstromes und ebenso ihr Effektivwert nur dann exakt ermittelt werden können, wenn die Hystereseschleife selbst gegeben ist.

* Ermittelt nach „Starkstromtechnik“ Seite 351.

** Handb. d. El. I, 2, 301.

Wir haben aber die Möglichkeit, den Effektivwert angenähert zu bestimmen, wenn wir uns eine ideelle Magnetisierungskurve denken. Als solche wählen wir nicht die Mittellinie der Schleife, sondern die gewöhnliche Magnetisierungskurve, da uns diese zur Verfügung steht, und ermitteln unter Zugrundelegung derselben sowie der vorhandenen Spannungs- bzw. Feldkurvenform die wattlose Komponente und ihren Scheitelfaktor. Da der Maximalwert ebenfalls der Magnetisierungskurve entnommen werden kann, ist somit der Effektivwert gefunden. Die Magnetisierungskurve schmiegt sich immer dem aufsteigenden Ast der Schleife sehr nahe an, dadurch wird die auf die geschilderte Art ermittelte wattlose Komponente gegenüber der wirklichen zu stumpf, also ihr Scheitelfaktor zu klein und der berechnete Effektivwert zu groß, d. h. wir gehen in der Berechnung zu sicher.

Andrerseits ist sofort zu übersehen, daß der begangene Fehler mit wachsender Induktion relativ immer kleiner werden muß, da sich die wirklichen und die benutzten wattlosen Komponenten in der Form immer mehr nähern und damit die Scheitelfaktoren immer mehr Übereinstimmung zeigen müssen, während nach der gewöhnlichen Rechnungsart der Fehler mit steigender Induktion sehr stark zunimmt. Es wird sich also die angegebene Bestimmung der wattlosen Komponente in erster Linie bei hohen Induktionen empfehlen. Außerdem hat sie den Vorteil, daß sie auch für abweichende Spannungs- bzw. Feldformen ebensogut angenähert richtige Werte ergibt, wenn nur die wattlose Komponente auf Grund der entsprechenden Feldform aus der Magnetisierungskurve ermittelt wird.

Da man gewöhnlich mit sinusförmiger Spannung zu tun hat, kann man sich für verschiedene Induktionen die angenäherten Scheitelfaktoren für ein bestimmtes Eisen mit Hilfe der Magnetisierungskurve auf einfache Weise ermitteln und abhängig von der Induktion für die spätere Benutzung auftragen.

Soll z. B. für die Magnetisierungskurve in Abb. 42 der zu S gehörige Scheitelfaktor bestimmt werden, so trägt man die Feldkurve in Polarkoordinaten, d. h. bei Sinusform als Kreis auf. Der Maßstab ist gleichgültig, da wir nur eine Verhältniszahl ermitteln, und wird so gewählt, daß der Durchmesser des Kreises gleich der in Frage kommenden maximalen Induktion ist. Für beliebige von O ausgehende Strahlen oder Momentanwerte des Feldes kann dann der zugehörige Strom der Kommutierungslinie entnommen und im Polardiagramm eingetragen werden. Durch Planimetrieren der Stromkurve im Polar-

diagramm wird auf bekannte Weise der Effektivwert und durch das Verhältnis des Maximalwertes zu diesem der Scheitelfaktor erhalten.

Für den untersuchten Ring wurden so für 5 Induktionen die Scheitelfaktoren ermittelt und ergaben folgende Werte:

für B_{max}:	6000	9000	11 500	14 000	16 000
σ:	1,425	1,55	1,67	1,79	2,05

Sie sind in Abb. 43 abhängig von B_{max} aufgetragen. Zum Vergleich sollen die wirklichen Effektivwerte der wattlosen Komponente und die mit den der Kurve in Abb. 43 entnommenen Scheitelfaktoren berechneten für die bei 50 Perioden aufgenommene Versuchsreihe hier zusammengestellt werden:

B_{max}:	5570	8500	11410	14150	15850
$\tilde{J}_{eff} \cdot \sin \varphi$ (wirkl. Wert):	0,0574	0,103	0,193	0,388	0,643
$\tilde{J}_{eff} \cdot \sin \varphi$ (berechn. Wert):	0,0810	0,135	0,232	0,430	0,690

Wir sehen daraus, daß wir uns mit wachsender Induktion immer mehr dem richtigen Wert nähern; bei B = 15850 beträgt der Fehler nur noch 7,5%, während er bei Einsetzung des Scheitelfaktors mit $\sqrt{2}$ bereits einen Betrag von 54% erreichen würde.

Zahlentafel 1.

Kommutierungskurve.

w = 306 l = 41,8 cm q = 2,42 cm²
R = 100250 Ohm $C_b = 6{,}54 \cdot 10^{-9}$ (für $\alpha = 180$)

$\bar{J}_{Amp}$	H	n	α Mittel	B	μ
0,050	0,456	404	3,05	100	219
0,104	0,957	,,	25,15	840	878
0,163	1,497	,,	71,0	2370	1583
0,203	1,870	,,	99,0	3310	1770
0,273	2,51	,,	136,2	4550	1810
0,337	3,10	,,	168,3	5640	1820
0,431	3,97	,,	201,1	6720	1690
0,510	4,70	,,	226,2	7570	1610
0,743	6,84	,,	274,2	9250	1352
1,008	9,26	210	164,4	10600	1143
1,230	11,31	,,	178,7	11500	1017
1,548	14,22	,,	192,5	12410	873
1,830	16,82	,,	203,0	13100	778
2,230	20,50	,,	215,0	13900	678
2,490	22,95	,,	221,0	14290	622
2,725	25,08	,,	225,0	14590	581
3,280	30,20	,,	233,2	15100	500
3,680	33,80	,,	237,8	15410	456
4,290	39,44	,,	243,0	15780	400
5,040	46,30	,,	248,3	16110	348
5,560	51,20	,,	251,5	16300	318
6,120	56,30	,,	253,5	16450	292
6,700	61,60	,,	256,3	16620	270
7,400	68,00	,,	258,7	16800	247

Zahlentafel 2.

Jungfräuliche Kurve.

w = 306 n = 404 R = 5250 Ohm C = $7{,}10 \cdot 10^{-9}$ (für $\alpha = 180$)
(B′ = Induktionssprung; B = Gesamtinduktion).

$\bar{J}_{Amp}$	H	α Mittel	B′	B
0,064	0,592	75,5	282	282
0,099	0,912	105,9	393	675
0,119	1,095	129,7	492	1167
0,149	1,37	180,0	686	1853
0,169	1,55	165,9	632	2485
0,198	1,825	190,2	726	3211
0,248	2,28	268,9	1030	4241

$\bar{J}_{Amp}$	H	α Mittel	B′	B
0,297	2,74	205,0	783	5024
0,357	3,28	238,7	915	5939
0,416	3,83	166,1	633	6572
0,476	4,375	150,9	574	7146
0,535	4,925	140,8	535	7681
0,595	5,47	150,0	571	8252
0,684	6,29	153,8	585	8837
0,753	6,93	111,7	424	9261
0,852	7,84	154,5	588	9849
0,962	8,84	133,2	507	10356
1,11	10,2	170,1	648	11004
1,34	12,3	202,7	774	11778
1,49	13,7	119,4	451	12229
1,68	15,46	127,2	483	12712
1,912	17,6	137,5	522	13234
2,09	19,22	88,8	337	13571
2,355	21,65	111,2	423	13994
2,61	24,0	89,7	340	14334
2,97	27,3	104,7	398	14732
3,44	31,7	106,8	404	15136
3,96	36,4	87,8	335	15471
4,85	44,6	111,2	423	15894
6,01	55,3	104,7	398	16292

Zahlentafel 3.

Gleichstrom-Hystereseschleife ($B_{max} = 5657$).

$w = 306$ $n = 404$ $R = 5250$ Ohm $C_b = 7{,}10 \cdot 10^{-9}$ (für $\alpha = 180$)

$\bar{J}_{Amp}$	H	α Mittel	B′	B
0,358	3,29	—	—	5657
0,247	2,28	48,05	183	5474
0,147	1,35	87,2	331	5143
0,067	0,615	109,3	415	4728
0	0	139,15	529	4199
0,039	0,365	122,6	465	3734
0,067	0,615	108,4	412	3322
0,098	0,902	224,0	858	2464
0,113	1,04	242,8	930	1534
0,128	1,175	259,6	996	538
0,139	1,277	228,0	873	—335
0,150	1,385	181,2	691	1026
0,161	1,485	151,2	575	1601
0,177	1,63	160,7	611	2212
0,183	1,687	60,5	230	2442
0,191	1,762	85,0	323	2765
0,198	1,822	45,8	174	2939
0,216	1,987	121,0	459	3398
0,237	2,182	127,6	484	3882

$\bar{J}_{Amp}$	H	α Mittel	B′	B
0,247	2,28	64,8	246	4128
0,279	2,57	136,6	518	4646
0,297	2,735	65,1	248	4894
0,346	3,19	166,0	632	5526
0,358	3,29	34,3	131	5657

Zahlentafel 4.

Gleichstrom-Hystereseschleife ($B_{max} = 10481$).

$w = 306$ $n = 404$ $R = 5250$ Ohm $C_b = 7{,}10 \cdot 10^{-9}$ (für $\alpha = 180$)

$\bar{J}_{Amp}$	H	α Mittel	B′	B
1,058	9,72	—	—	10481
0,825	7,58	61,9	235	10246
0,664	6,11	75,9	288	9958
0,517	4,76	98,15	372	9586
0,410	3,775	96,7	367	9219
0,297	2,734	130,6	495	8724
0,198	1,822	141,8	538	8186
0,147	1,349	93,4	354	7832
0,098	0,902	97,0	368	7464
0,067	0,62	70,6	268	7196
0,039	0,364	63,75	242	6954
0	0	114,5	434	6520
0,039	0,364	135,8	516	6004
0,067	0,62	109,0	413	5591
0,098	0,902	188,0	717	4874
0,113	1,04	178,8	682	4192
0,129	1,185	230,7	884	3308
0,139	1,275	192,4	734	2574
0,149	1,37	210,9	806	1768
0,158	1,46	171,6	653	1115
0,173	1,59	208,1	795	320
0,178	1,64	80,2	304	16
0,190	1,75	175,6	670	—654
0,198	1,828	84,0	319	973
0,216	1,995	182,0	694	1667
0,238	2,185	202,4	772	2439
0,248	2,285	106,4	404	2843
0,280	2,575	226,8	869	3712
0,297	2,73	106,5	404	4116
0,346	3,185	271,3	1042	5158
0,358	3,30	54,0	205	5363
0,412	3,79	205,4	783	6146
0,465	4,28	172,1	656	6802
0,520	4,78	148,2	564	7366
0,586	5,40	154,2	587	7953
0,665	6,12	150,0	570	8523

$\bar{J}_{Amp}$	H	α Mittel	B′	B
0,729	6,70	101,7	385	8908
0,825	7,58	142,1	540	9448
0,915	8,42	115,2	437	9885
1,058	9,72	156,7	596	10481

Zahlentafel 5.

Gleichstrom-Hystereseschleife ($B_{max} = 15689$).

w = 306 n = 404 R = 5250 Ohm $C_b = 7{,}10 \cdot 10^{-9}$ (für $\alpha = 180$)

$\bar{J}_{Amp}$	H	α Mittel	B′	B
5,12	47,2	—	—	15689
3,90	35,8	94,8	360	15329
3,075	28,25	100,3	381	14948
2,607	24,0	83,6	318	14630
2,18	20,05	102,2	388	14242
1,885	17,33	93,2	354	13888
1,687	15,5	76,1	289	13599
1,478	13,6	91,35	347	13252
1,35	12,4	59,4	236	13016
1,19	10,95	91,1	346	12670
1,047	9,62	90,2	343	12327
0,942	8,67	81,35	309	12018
0,833	7,66	86,6	329	11689
0,729	6,70	92,0	350	11339
0,595	5,47	126,1	479	10860
0,496	4,56	107,1	406	10454
0,396	3,645	127,4	484	9970
0,292	2,69	166,4	634	9336
0,188	1,733	183,5	700	8636
0,102	0,935	166,5	634	8002
0,052	0,479	130,15	495	7507
0	0	151,9	578	6929
0,049	0,456	189,0	722	6207
0,089	0,821	157,3	599	5608
0,099	0,913	164,8	627	4981
0,109	1,002	147,6	561	4420
0,129	1,187	174,0	662	3758
0,140	1,287	187,8	716	3042
0,149	1,37	216,5	828	2214
0,154	1,413	112,2	426	1788
0,159	1,46	136,3	519	1269
0,176	1,62	135,8	516	753
0,188	1,732	120,9	458	295
0,198	1,825	220,9	800	—505
0,208	1,915	127,0	482	987
0,234	2,15	163,5	622	1609
0,248	2,28	196,2	749	2358

$\bar{J}_{Amp}$	H	α Mittel	B′	B
0,292	2,69	262,7	1009	3367
0,337	3,10	276,6	1062	4429
0,357	3,28	144,5	550	4979
0,396	3,645	156,3	595	5574
0,436	4,01	123,7	468	6042
0,480	4,41	136,0	517	6559
0,496	4,56	74,8	285	6844
0,555	5,11	160,6	612	7456
0,595	5,47	80,2	304	7760
0,694	6,38	206,0	787	8547
0,729	6,71	43,4	165	8712
0,833	7,66	168,4	642	9354
0,942	8,67	148,3	565	9919
1,048	9,63	134,7	511	10430
1,190	10,95	145,6	554	10984
1,350	12,4	143,7	546	11530
1,480	13,6	92,5	352	11882
1,688	15,5	140,8	535	12417
1,885	17,32	118,5	449	12866
2,180	20,06	146,1	556	13422
2,620	24,1	159,0	606	14028
3,08	28,3	131,6	500	14528
3,91	35,95	156,8	597	15125
5,12	47,2	148,2	564	15689

Zahlentafel 6.

Gleichstrom-Hystereseschleife ($B_{max} = 15903$)
mit größeren Sprüngen aufgenommen.

$w = 306$ $n = 404$ $R = 20250$ Ohm $C_b = 6{,}67 \cdot 10^{-9}$ (für $\alpha = 180$)

$\bar{J}_{Amp}$	H	α Mittel	B′	B
5,12	47,2	—	—	15903
2,60	23,88	77,6	1069	14834
1,475	13,56	100,65	1382	13452
0,833	7,66	113,8	1565	11887
0,441	4,06	112,0	1540	10347
0,109	1,002	149,7	2060	8287
0	0	86,0	1184	7103
0,109	1,002	182,4	2518	4585
0,144	1,322	116,1	1597	2988
0,193	1,778	221,5	3070	—82
0,258	2,37	204,8	2835	2917
0,441	4,06	243,3	3371	6288
0,595	5,47	122,4	1683	7971
0,942	8,67	158,0	2177	10148
1,482	13,62	144,1	1942	12090
2,62	24,1	156,6	2156	14246
5,12	47,2	120,3	1657	15903

Zahlentafel 7.

Versuch I.

50 Perioden		t_z = 22,7° C	w = 931	C_{Volt} = 0,0605 (0,0606)
$\tilde{J}$ = 0,653 Amp	$\tilde{J}_g$ = 12,1 Amp	t_r = 42,0° C	n = 700	C_{Amp} = 0,00614 (0,00613)
$\tilde{E}_i$ = 60,5 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 82,8 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 9,2 Volt	n_k = 100	
P = 15,25 Watt		$\tilde{E}_{34}$ = 2,0 Volt		

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
20	—175,1	—51,9	80	173,4	+8,2	47,5	21,2	206,0
25	150,4	79,0	85	190,5	15,2	50	33,5	177,0
30	115,5	118,5	90	200,9	18,3	55	56,3	122,9
35	71,8	171,8	5	205,2	21,7	60	79,4	81,4
37,5	—	196,6	7,5	205,5	—	65	105,0	48,8
40	25,8	217,7	10	203,6	26,0	70	130,2	23,4
42	—	227,2	15	195,6	32,6	75	154,0	4,4
43	—	226,8	20	181,1	46,3	80	174,9	—8,8
44	—	225,9	25	157,1	71,8	85	191,5	15,4
45	+9,8	222,4	30	122,8	111,9	90	201,5	18,5
47,5	22,2	202,1	35	78,2	164,5	5	205,3	22,2
50	34,0	174,0	37,5	—	193,9	7,5	204,7	—
55	55,5	123,3	40	30,0	216,2	10	202,7	27,0
60	80,0	80,6	42	—	225,5	15	192,6	34,8
65	103,6	49,6	43	—	228,2	20	175,4	51,6
70	128,5	24,6	44	—	228,1			
75	152,9	5,0	45	—8,8	223,7			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
90	+3,16	—1556	45	38,3	15830
5	3,78	+1272	50	30,15	15520
10	4,56	4110	55	21,15	14900
15	5,80	6870	60	13,92	13980
20	8,42	9470	65	8,45	12720
25	12,92	11800	70	4,12	11090
30	19,8	13720	75	0,81	9130
35	28,9	15030	80	—1,46	6850
40	37,25	15720	85	2,62	4290
43	39,02	15850	90	3,16	1578
43,5	39,05	15850	5	3,78	—1250

Zahlentafel 8.

Versuch II.

50 Perioden		$t_z = 21{,}2^0$ C	w = 931	$C_{Volt} = 0\,0487\ (0{,}0492)$
$\tilde{J} = 0{,}402$ Amp	$\tilde{J}_g = 10{,}4$ Amp	$t_r = 38{,}6^0$ C	n = 700	$C_{Amp} = 0{,}00396\ (0{,}00398)$
$\tilde{E}_i = 54{,}3$ Volt	$\tilde{E}_{12} = 74{,}25$ Volt	$\overline{E}_{12} = 6{,}66$ Volt	$n_k = 100$	
P = 10,4 Watt		$\overline{E}_{34} = 1{,}2$ Volt		

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
65	—220,8	—39,9	35	153,6	14,8	7,5	4,9	198,0
70	209,4	46,0	40	178,8	+6,7	9	—	195,8
75	189,8	66,5	45	198,4	19,0	10	—13,0	190,1
80	161,5	91,5	50	214,6	25,2	12,5	27,6	175,0
85	125,8	125,5	55	223,2	29,5	15	42,5	152,9
90	81,1	165,2	57,5	225,0	—	20	70,4	110,0
2,5	—	180,6	60	225,1	33,8	25	98,6	72,6
5	33,2	192,8	65	220,5	39,7	30	126,4	41,2
7,5	12,0	197,8	70	209,0	48,8	35	154,2	13,6
9	—	197,2	75	188,8	67,8	40	176,5	—4,6
10	+7,4	195,4	80	157,0	97,0	45	195,4	17,5
12,5	26,0	177,6	85	118,0	133,2	50	211,2	24,2
15	41,0	155,2	90	73,9	170,5	55	221,2	28,0
20	70,0	110,2	2,5	—	185,5	57,5	224,1	—
25	99,0	72,8	5	25,8	194,6	60	224,6	32,2
30	126,5	41,8	6	—	197,0	65	221,8	37,8

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
55	+3,20	—850	10	21,34	14170
60	3,66	+1658	15	17,08	13870
65	4,30	4160	20	12,20	13230
70	5,25	6575	25	8,05	12300
75	7,44	8810	30	4,59	11030
80	10,42	10780	35	1,57	9460
85	14,33	12360	40	—0,62	7620
90	18,58	14480	45	2,02	5510
5	21,44	14070	50	2,74	3205
7,5	21,94	14180	55	3,19	765
8,5	21,86	14180	60	3,66	—1742

Zahlentafel 9.

Versuch III.

50 Perioden
$\tilde{J}$ = 0,213 Amp
$\tilde{E}_i$ = 44,0 Volt
P = 6,45 Watt

$\tilde{J}_g$ = 11,8 Amp
$\tilde{E}_{12}$ = 59,6 Volt

t_z = 21,5° C
t_r = 32,8° C
$\tilde{E}_{12}$ = 5,60 Volt
$\tilde{E}_{34}$ = 0,62 Volt

w = 931
n = 700
n_k = 100

C_{Volt} = 0,0413 (0,0420)
C_{Amp} = 0,00178 (0,00178)

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
20	—199,8	—84,7	80	167,5	27,7	50	4,4	211,9
25	182,5	101,8	85	186,3	43,4	51	—	206,5
30	154,4	127,8	90	200,1	52,0	52,5	19,6	195,5
35	118,2	159,7	5	209,0	58,0	55	34,0	172,5
40	75,6	192,2	10	211,5	64,9	60	62,4	121,3
45	35,2	212,2	12,5	210,9	—	65	90,0	74,1
47	—	215,4	15	208,5	73,4	70	117,7	34,3
47,5	13,5	215,9	20	199,0	84,5	75	143,8	0,4
49	—	215,2	25	181,6	101,3	80	167,0	—26,2
50	+4,1	213,3	30	155,0	126,5	85	186,8	43,0
52,5	19,9	196,8	35	119,0	159,5	90	200,2	51,5
55	34,4	173,1	40	77,0	190,8	5	209,2	58,0
60	62,9	121,6	45	34,2	210,1	10	212,1	65,0
65	89,9	74,6	47	—	214,0	12,5	211,5	—
70	117,4	35,3	48	10,6	213,9	15	209,0	73,8
75	144,5	+0,8	49	—	214,0	20	199,5	84,7

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
5	+2,90	—855	55	8,62	11230
10	3,24	+1147	60	6,06	10800
15	3,68	3144	65	3,72	10080
20	4,23	5080	70	1,74	9080
25	5,07	6900	75	—0,01	7830
30	6,36	8520	80	1,35	6350
35	7,96	9820	85	2,16	4660
40	9,56	10780	90	2,58	2820
45	10,54	11295	5	2,89	865
48	10,73	11400	10	3,24	—1137
49,5	10,68	11420			

Zahlentafel 10.

Versuch IV.

50 Perioden		$t = 20{,}4^0$ C	$w = 931$	$C_{Volt} = 0{,}0294 (0{,}0295)$
$\tilde{J} = 0{,}1265$ Amp	$\tilde{J}_g = 8{,}4$ Amp	$t_r = 27{,}8^0$ C	$n = 700$	$C_{Amp} = 0{,}000900$ (0,000900)
$\tilde{E}_i = 32{,}0$ Volt	$\tilde{E}_{12} = 45{,}7$ Volt	$\tilde{E}_{12} = 4{,}52$ Volt	$n_k = 100$	
$P = 3{,}86$ Watt		$\tilde{E}_{34} = 0{,}37$ Volt		

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
65	—51,6	—225,5	30	221,4	104,2	85	83,0	80,8
67	34,2	229,4	35	220,4	114,2	90	112,6	28,6
68	—	230,5	40	212,4	125,6	5	141,2	—15,0
69	—	231,0	45	197,3	139,8	10	166,4	48,8
70	10,0	229,8	50	172,3	157,1	15	187,6	72,0
72,5	+8,8	223,8	55	137,6	181,0	20	204,5	86,0
75	25,8	201,2	60	95,0	204,5	25	216,0	95,1
77,5	—	168,3	65	51,0	222,8	30	221,0	103,3
80	56,2	138,8	67	34,8	225,8	35	220,0	112,8
85	85,4	79,1	68	—	226,4	40	213,4	124,3
90	114,9	28,0	69	—	226,4	45	198,4	138,0
5	143,8	+16,0	70	10,6	225,2	50	174,0	155,5
10	168,2	49,9	72,5	—8,0	219,8	55	139,6	179,6
15	189,4	73,2	75	24,8	198,1	60	98,1	204,0
20	205,6	86,8	77,5	—	169,5	65	55,0	224,1
25	216,4	95,6	80	54,6	139,2			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
25	+2,40	—1119	75	5,03	8440
30	2,61	+359	80	3,50	8170
35	2,86	1851	85	2,02	7720
40	3,15	3310	90	0,71	7060
45	3,50	4700	5	—0,39	6190
50	3,94	5950	10	1,24	5150
55	4,54	7000	15	1,83	3945
60	5,15	7790	20	2,18	2620
65	5,63	8290	25	2,40	1199
69	5,76	8480	30	2,61	—274
70	5,73	8490	35	2,86	1760
71,2	5,68	8500			

Zahlentafel 11.

Versuch V.

50 Perioden

$\tilde{J}$ = 0,08 Amp | $\tilde{J}_g$ = 6,0 Amp | t_z = 20,7° C | w = 931 | C_{Volt} = 0,0189 (0,0192)

$\tilde{E}_i$ = 21,5 Volt | $\tilde{E}_{12}$ = 30,4 Volt | t_r = 25,8° C | n = 700 | C_{Amp} = 0,000584 (0,000586)

P = 1,88 Watt | | $\tilde{E}_{12}$ = 2,83 Volt | n_k = 100 |

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
60	—108,6	—186,5	30	226,0	124,0	90	108,7	22,3
65	65,2	193,6	35	225,5	132,0	2,5	—	—0,9
67	—	194,1	40	219,2	142,3	5	139,1	22,0
68	40,9	194,6	45	205,5	152,2	10	165,4	58,2
69	—	194,4	50	182,5	162,9	15	188,5	85,0
70	22,9	193,0	55	149,5	174,3	20	206,6	103,6
72,5	3,0	189,5	60	108,0	185,6	25	220,2	116,0
75	+15,4	177,5	65	65,2	193,5	30	226,8	125,6
80	47,6	129,6	67	—	194,7	35	226,5	134,8
85	78,4	74,9	68	39,5	195,1	40	220,6	143,9
90	109,2	23,4	69	—	195,9	45	206,6	153,5
5	139,5	+21,9	70	23,6	195,1	50	184,0	164,2
10	165,9	57,0	72,5	2,8	191,1	55	151,4	175,0
15	188,5	83,6	75	—16,1	178,2	60	110,9	185,8
20	206,6	102,4	80	48,4	129,7			
25	219,9	114,7	85	78,2	75,0			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
25	+1,88	—1002	75	2,90	5560
30	2,04	35	80	2,12	5430
35	2,18	+946	85	1,22	5150
40	2,34	1912	90	0,37	4750
45	2,50	2835	5	—0,36	4220
50	2,67	3684	10	0,94	3560
55	2,85	4410	15	1,38	2795
60	3,04	4970	20	1,68	1941
65	3,16	5350	25	1,88	1013
68	3,19	5490	30	2,04	43
70	3,17	5540	35	2,18	—938
73	3,08	5570			

Zahlentafel 12.

Versuch VI.

40 Perioden		t_z —	w = 931	$C_{Volt} = 0{,}0517\ (0{,}0521)$
$\tilde{J}$ = 0,653 Amp	$\tilde{J}_g$ = 13,3 Amp	t_r —	n = 700	$C_{Amp} = 0{,}00702 (0{,}00709)$
$\tilde{E}_i$ = 49,0 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 66,1 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 7,5 Volt	n_k = 100	
P = 11,8 Watt		$\tilde{E}_{34}$ = 1,925 Volt		

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
15	—39,0	—182,1	72,5	192,6	—	35	68,2	81,4
17,5	19,2	195,2	75	191,4	19,8	40	90,6	52,2
19	—	199,4	80	185,5	25,2	45	113,5	28,5
20	+0,2	203,8	82,5	180,6	—	50	137,0	9,2
21	—	200,8	85	174,3	34,5	55	167,1	—3,8
22	11,5	196,5	90	153,8	56,0	60	171,5	11,8
23	—	187,9	5	124,5	86,9	65	183,2	13,6
25	27,1	169,5	10	84,0	131,8	70	190,0	16,6
27,5	—	145,5	15	41,0	177,0	72	190,4	—
30	47,0	121,2	17,5	19,8	194,2	75	189,1	19,8
35	71,0	78,4	19	—	191,1	80	185,0	24,6
40	93,1	49,4	20	—0,3	199,5	82,5	180,4	—
45	115,8	26,8	21	—	197,5	85	173,7	34,8
50	137,8	+3,2	22	11,5	193,0	90	154,5	50,8
55	156,8	9,2	23	—	185,0	5	129,2	78,2
60	174,8	11,1	25	26,3	166,0	10	90,2	118,5
65	186,2	14,1	27,5	—	143,6	15	47,8	162,5
70	192,5	16,8	30	46,5	120,0			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
65	+2,71	—2480	30	23,65	15280
70	3,28	+312	35	15,68	14410
75	3,88	3144	40	10,00	13220
80	4,89	5940	45	5,42	11700
85	6,79	8620	50	1,80	9830
90	10,48	11080	55	—0,68	7640
5	16,20	13180	60	2,16	5200
10	24,60	14780	65	2,71	2534
15	34,25	15740	70	3,28	—258
20	39,24	16040	75	3,88	3095
25	32,90	15830			

Zahlentafel 13.

Versuch VII.

40 Perioden		t_z = 22,7° C		
$\tilde{J}$ = 0,402 Amp	$\tilde{J}_g$ = 12,0 Amp	t_r = 36,8° C	w = 931	C_{Volt} = 0,0514(0,0515)
$\tilde{E}_i$ = 44,0 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 60,0 Volt	E_{12} = 5,86 Volt	n = 700	C_{Amp} = 0,00492(0,00494)
P = 8,1 Watt		$\bar{E}_{34}$ = 1,18 Volt	n_k = 100	

Grad	α Mittel		Grad	α Mittel		Grad	α Mittel	
	e	i		e	i		e	i
15	—60,0	—134,4	75	173,0	24,7	45	93,5	36,8
17,5	—	147,8	77,5	172,0	—	50	114,6	15,3
20	24,0	156,5	80	170,0	29,0	55	134,4	—3,0
22	—	160,1	85	160,5	37,5	60	153,1	14,4
23	—	160,0	90	144,8	52,2	65	165,0	18,8
25	+7,0	157,0	5	118,1	80,4	70	170,6	21,5
27,5	—	143,7	10	86,0	112,0	72,5	172,0	—
30	31,0	126,7	15	49,0	141,9	75	173,0	25,0
35	52,0	92,4	17,5	—	152,4	77,5	172,1	26,8
40	73,8	62,0	20	16,9	157,8	80	170,2	29,1
45	99,7	30,0	22	—	159,0	85	163,2	34,8
50	118,8	12,0	23	—	159,5	90	151,4	46,1
55	138,0	+4,5	25	—12,2	152,5	5	131,8	66,0
60	153,7	14,6	27,5	—	138,0	10	104,4	94,4
65	165,7	18,9	30	32,5	121,9	15	70,2	125,5
70	171,8	21,6	35	52,2	91,5			
72,5	173,1	—	40	73,2	61,8			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
70	+2,98	—848	25	21,36	14420
75	3,43	+1693	30	17,10	14110
80	4,01	4225	35	12,68	13500
85	4,98	6680	40	8,51	12580
90	6,78	8990	45	4,58	11310
5	10,00	11030	50	1,88	9740
10	14,21	12670	55	—0,52	7880
15	18,71	13780	60	1,98	5740
20	21,65	14370	65	2,58	3375
22,5	22,00	14430	70	2,98	890
23,2	21,95	14430	75	3,43	—1660

Zahlentafel 14.

Versuch VIII.

40 Perioden		$t_z = 21{,}0^0$ C	w = 931	$C_{Voll} = 0{,}0515\ (0{,}0512)$
$\tilde{J} = 0{,}213$ Amp	$\tilde{J}_g = 9{,}85$ Amp	$t_r = 29{,}6^0$ C	n = 700	$C_{Amp} = 0{,}00220 (0{,}00220)$
$\tilde{E}_i = 34{,}7$ Volt	$\tilde{E}_{12} = 48{,}9$ Volt	$\tilde{E}_{12} = 5{,}67$ Volt	$n_k = 100$	
P = 5,38 Watt		$\tilde{E}_{34} = 0{,}62$ Volt		

Grad	α Mittel e	i	Grad	α Mittel e	i	Grad	α Mittel e	i
15	—57,0	—151,8	75	138,0	49,2	45	74,5	29,6
17,5	42,5	163,4	77,5	137,6	—	50	89,5	4,0
20	28,4	172,0	80	136,0	55,5	55	103,0	—13,8
22,5	—	177,0	85	129,4	65,0	60	116,4	29,2
25	1,8	177,7	90	118,4	79,8	65	127,7	37,8
27,5	—	168,8	5	101,6	101,5	70	134,5	42,5
30	+19,2	151,1	10	77,5	130,3	72,5	136,7	—
35	36,6	109,0	15	50,5	156,9	75	137,8	47,5
40	53,7	70,4	17,5	—	167,9	77,5	137,5	—
45	70,6	37,2	20	21,8	173,6	80	137,0	53,6
50	87,8	8,9	22,5	—	176,9	85	131,3	62,3
55	103,1	+13,6	25	—4,8	174,2	90	122,2	74,3
60	116,9	29,5	27,5	—	159,2	5	106,5	94,9
65	128,8	38,1	30	23,5	140,2	10	84,5	122,5
70	136,0	43,3	35	40,8	98,8	15	58,3	150,7
72,5	137,8	—	40	57,4	61,7			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
70	+2,64	—1198	30	8,95	11300
75	2,97	+825	35	6,37	10870
80	3,36	2850	40	4,06	10170
85	3,91	4820	45	2,05	9220
90	4,74	6680	50	0,40	8020
5	6,03	8350	55	—0,85	6600
10	7,76	9730	60	1,81	4980
15	9,47	10720	65	2,33	3175
20	10,63	11300	70	2,64	1222
23,5	10,90	11470	75	2,97	—801
24,8	10,81	11480			

Zahlentafel 15.

Versuch IX.

40 Perioden		t_z = 18,8° C	w = 931	C_{Volt} = 0,0367 (0,0366)
$\tilde{J}$ = 0,1265Amp	$\tilde{J}_g$ = 7,7 Amp	t_r = 25,6° C	n = 700	C_{Amp} = 0,00113(0,00114)
$\tilde{E}_i$ = 26,3 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 37,5 Volt	$\bar{E}_{12}$ = 4,50 Volt	n_k = 100	
P = 3,1 Watt		$\bar{E}_{34}$ = 0,355Volt		

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
15	—66,5	—166,0	75	145,5	81,3	45	77,0	17,6
17,5	—	176,0	77,5	144,7	—	50	94,6	—14,2
20	35,0	181,5	80	143,2	88,3	55	110,2	36,0
22,5	—	185,5	85	137,5	96,5	60	121,8	53,5
25	5,7	187,0	90	125,8	108,9	65	134,5	64,8
27,5	—	179,5	5	109,5	127,0	70	141,6	71,6
30	+17,4	161,2	10	85,5	148,5	72,5	144,5	—
35	36,8	111,6	15	57,5	169,4	75	145,6	78,4
40	54,5	66,5	17,5	—	180,0	77,5	145,7	—
45	72,5	26,0	20	26,9	185,1	80	145,0	85,2
50	90,5	+7,5	22,5	—	188,1	85	139,4	94,0
55	112,5	42,0	25	—1,8	185,4	90	129,7	105,1
60	123,0	53,5	27,5	—	172,8	5	115,5	121,0
65	138,0	68,0	30	22,8	148,5	10	94,1	142,2
70	144,2	74,5	35	41,1	100,1	15	66,7	165,5
72,5	145,5	—	40	58,6	56,4			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
70	+2,30	—1033	30	4,90	8575
75	2,52	+485	35	3,34	8260
80	2,74	2014	40	1,95	7770
85	3,00	3500	45	0,68	7075
90	3,37	4910	50	—0,34	6180
5	3,91	6175	55	1,23	5110
10	4,58	7250	60	1,69	3860
15	5,28	8040	65	2,09	2480
20	5,79	8525	70	2,31	1008
23,5	5,90	8680	75	2,52	—512
25,5	5,86	8680	80	2,74	2042

Zahlentafel 16.

Versuch X.

40 Perioden		t_z = 19,3° C	w = 931	C_{Volt} = 0,0235 (0,0237)
$\tilde{J}$ = 0,08 Amp	$\tilde{J}_g$ = 5,2 Amp	t_r = 22,8° C	n = 700	C_{Amp} = 0,000735 (0,00074?)
$\tilde{E}_i$ = 17,8 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 25,0 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 2,80 Volt	n_k = 100	
P = 1,48 Watt		$\tilde{E}_{34}$ = 0,22 Volt		

Grad	α Mittel e	i	Grad	α Mittel e	i	Grad	α Mittel e	i
15	—72,2	—149,6	70	148,6	92,2	30	23,5	125,2
17,5	—	154,8	72,5	151,5	—	35	42,5	83,8
19	—	156,4	75	151,9	99,1	40	60,8	43,8
20	41,5	158,4	77,5	151,0	—	45	79,0	7,5
21	—	158,2	80	149,4	106,0	50	97,9	—25,0
22	—	158,6	85	141,5	114,2	55	115,8	51,8
23	—	159,0	90	128,4	123,3	60	131,5	70,5
24	—	157,9	5	109,2	134,6	65	142,2	83,2
25	0,5	156,6	10	84,3	145,5	70	149,5	91,3
27,5	+12,8	145,8	15	53,5	156,3	72,5	151,6	—
30	23,4	125,2	17,5	—	158,4	75	152,5	98,2
35	42,5	80,0	20	23,9	159,4	77,5	152,6	—
40	62,8	35,8	21	—	158,9	80	151,0	104,5
45	82,6	+0,5	22	—	158,8	85	144,0	111,8
50	98,4	26,8	23	7,0	158,1	90	132,8	120,9
55	116,2	53,5	24	—	157,5	5	122,2	128,2
60	131,6	71,8	25	—1,5	155,5	10	99,9	140,1
65	143,3	84,6	27,5	—	142,4	15	73,4	150,2

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
70	+1,88	—606	30	2,58	5760
75	2,02	+416	35	1,68	5535
80	2,16	1440	40	0,82	5190
85	2,32	2430	45	0,05	4720
90	2,51	3360	50	—0,53	4125
5	2,70	4180	55	1,07	3395
10	2,94	4880	60	1,46	2560
15	3,15	5420	65	1,72	1632
20	3,26	5740	70	1,88	647
22	3,27	5790	75	2,02	—372
25	3,22	5840	80	2,16	1391

Zahlentafel 17.

Versuch XI.

25 Perioden		t_e = 19,6° C	w = 931	C_{Volt} = 0,0314(0,0314)
$\tilde{J}$ = 0,653 Amp	$\tilde{J}_g$ = 8,2 Amp	t_i = 31,5° C	n = 700	C_{Amp} = 0,00607(0,00607)
$\tilde{E}_i$ = 30,3 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 41,7 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 6,07 Volt	n_k = 100	
P = 7,87 Watt		$\tilde{E}_{34}$ = 1,87 Volt		

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
65	—180,0	—38,8	30	136,4	12,9	1	—	225,3
70	158,1	62,2	35	158,4	+1,9	2,5	17,2	214,4
75	127,7	99,5	40	177,6	10,3	5	28,5	188,6
80	87,5	151,5	45	191,5	14,1	10	48,8	135,6
85	39,0	209,2	50	199,1	16,5	15	69,5	92,5
87,5	16,6	227,5	55	199,8	20,0	20	90,3	59,4
88	11,7	229,8	60	192,5	26,5	25	112,8	33,2
89	—	231,7	65	178,1	39,8	30	135,2	13,0
90	+2,8	231,3	70	155,6	64,1	35	157,0	—1,1
1	—	228,0	75	125,3	101,1	40	175,9	10,5
2,5	17,0	216,2	80	84,7	153,1	45	190,0	13,9
5	28,1	190,0	85	37,5	208,6	50	199,4	16,5
10	48,4	136,6	87,5	15,8	225,6	55	199,6	20,4
15	69,5	92,8	88	—	228,0	60	191,3	27,0
20	90,9	59,6	89	—	230,0	65	177,1	40,9
25	113,1	33,8	90	—3,5	229,5			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
45	+2,38	—2555	10	23,14	15050
50	2,80	+274	15	15,72	14200
55	3,43	3160	20	10,11	13070
60	4,55	5980	25	5,69	15590
65	6,77	8680	30	2,21	9790
70	10,72	11120	35	—0,25	7670
75	17,05	13180	40	1,77	5260
80	25,88	14700	45	2,38	2596
85	35,50	15590	50	2,80	—234
89,7	39,18	15820	55	3,43	3115
5	32,16	15570			

Zahlentafel 18.

Versuch XII.

25 Perioden	$\tilde{J}_g$ = 7,3 Amp	t_z = 19,8° C	w = 931	C_{Volt} = 0,0274 (0,0277)
$\tilde{J}$ = 0,402 Amp	$\tilde{E}_{12}$ = 37,5 Volt	t_r = 28,8° C	n = 700	C_{Amp} = 0,00372 (0,00375)
$\tilde{E}_i$ = 27,5 Volt		$\overline{E}_{12}$ = 4,63 Volt	n_k = 100	
P = 5,12 Watt		$\overline{E}_{34}$ = 1,14 Volt		

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
65	—184,6	—49,0	30	137,6	13,6	3	—7,9	210,2
70	164,6	71,0	35	160,1	+5,6	5	19,9	195,9
75	137,4	104,0	40	179,1	17,3	7,5	33,2	174,0
80	100,9	146,1	45	194,0	22,0	10	46,0	150,4
82,5	81,2	167,4	50	202,4	25,3	15	69,7	108,0
85	58,5	187,1	55	203,5	29,7	20	92,4	70,5
87,5	37,4	202,6	60	197,1	36,5	25	115,2	38,9
90	16,0	211,4	65	184,2	49,9	30	137,0	13,8
1	—	212,4	70	163,0	72,7	35	159,2	—4,8
2	+0,7	212,6	75	135,6	106,6	40	178,5	17,0
3	—	209,9	80	99,5	147,6	45	193,6	22,0
5	19,8	196,2	82,5	80,5	168,8	50	202,0	25,1
7,5	32,8	174,1	85	57,6	188,5	55	203,3	29,4
10	46,0	150,4	87,5	37,2	203,2	60	197,6	36,4
15	69,9	106,7	90	14,8	212,3	65	184,0	50,2
20	91,8	71,3	1	—	213,4			
25	114,7	39,3	2	—	213,0			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
45	+2,29	—2780	5	20,40	14270
50	2,62	274	10	15,67	13820
55	3,07	+2286	15	11,19	13120
60	3,80	4815	20	7,38	12120
65	5,19	7230	25	4,07	10800
70	7,48	9430	30	1,43	9200
75	10,98	11310	35	—0,54	7370
80	15,28	12820	40	1,79	5260
85	19,57	13820	45	2,29	2910
90	22,04	14290	50	2,62	398
2	21,98	14320	55	3,07	—2168

Zahlentafel 19.

Versuch XIII.

25 Perioden		t_z = 19,9° C			
$\tilde{J}$ = 0,213 Amp	$\tilde{J}_g$ = 6,2 Amp	t_r = 26,1° C	w = 931	C_{Volt} = 0,0432 (0,0439)	
$\tilde{E}_i$ = 22,2 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 31,9 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 5,57 Volt	n = 700	C_{Amp} = 0,00188 (0,00188)	
P = 3,48 Watt		$\tilde{E}_{34}$ = 0,60 Volt	n_x = 200		

Grad	α Mittel		Grad	α Mittel		Grad	α Mittel	
	e	i		e	i		e	i
65	—188,4	—78,5	30	141,6	+5,2	1	—	213,5
70	165,5	101,7	35	164,6	25,3	2	—	210,1
75	135,1	134,8	40	184,0	36,8	2,5	—11,6	207,3
80	97,3	171,2	45	200,0	42,3	5	26,1	187,0
82,5	74,8	188,3	50	208,5	47,5	10	52,0	137,1
85	52,4	201,8	55	208,8	54,2	15	74,8	93,2
87	34,8	209,1	60	201,1	63,4	20	96,9	54,2
89	—	213,2	65	187,1	79,0	25	119,4	21,4
90	8,8	214,0	70	164,5	102,8	30	141,1	—5,2
1	—	213,7	75	133,7	135,9	35	163,4	24,9
2,5	+11,0	207,8	80	95,2	172,6	40	183,6	36,5
5	26,0	187,2	82,5	74,0	188,5	45	198,5	42,4
10	51,8	138,0	85	51,8	202,1	50	208,1	47,6
15	74,8	93,0	87	33,5	209,5	55	208,6	53,8
20	97,2	54,5	89	—	213,4	60	201,3	63,4
25	119,3	21,9	90	7,8	213,8	65	186,6	79,8

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
45	+2,23	—2004	5	9,83	11380
50	2,50	+28	10	7,23	11000
55	2,84	2102	15	4,89	10370
60	3,33	4140	20	2,86	9520
65	4,15	6060	25	1,14	8440
70	5,37	7820	30	—0,27	7150
75	7,11	9280	35	1,32	5640
80	9,02	10430	40	1,92	3910
85	10,60	11180	45	2,23	2010
90	11,23	11480	50	2,50	—14
1	11,18	11490	55	2,84	2090

Zahlentafel 20.

Versuch XIV.

25 Perioden		t_z = 19,7° C	w = 931	C_{Volt} = 0,0338 (0,0345)
$\dot{J}$ = 0,1265 Amp	$\tilde{J}_g$ = 4,9 Amp	t_r = 23,8° C	n = 700	C_{Amp} = 0,00104 (0,00104)
$\dot{E}_i$ = 17,2 Volt	$\dot{E}_{12}$ = 25,0 Volt	$\bar{E}_{12}$ = 4,52 Volt	n_k = 200	
P = 1,99 Watt		$\bar{E}_{34}$ = 0,355 Volt		

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
65	—186,5	—103,8	30	137,5	+24,0	2	—4,2	212,8
70	164,8	122,2	35	160,7	46,5	3	—	207,5
75	136,8	149,0	40	180,3	60,2	5	23,3	190,4
80	100,1	178,8	45	195,6	67,6	7,5	36,0	165,1
82,5	—	193,0	50	204,6	74,0	10	48,5	136,9
85	58,0	203,6	52,5	205,3	—	15	71,2	85,0
87,5	36,5	211,0	55	204,8	81,4	20	93,0	41,8
89	—	213,6	60	198,0	90,7	25	115,1	5,3
90	14,4	214,3	65	184,2	104,2	30	136,8	—24,0
1	—	214,1	70	162,5	124,1	35	159,2	45,8
2	+2,6	212,6	75	134,5	150,5	40	179,0	59,5
3	—	208,6	80	99,1	179,6	45	193,8	67,3
5	22,3	191,5	82,5	—	193,7	50	204,6	73,5
7,5	35,8	164,4	85	56,7	204,5	52,5	204,8	—
10	48,4	138,2	87,5	35,6	211,8	55	204,7	81,7
15	71,0	85,5	89	—	214,2	60	197,4	91,7
20	93,4	41,6	90	12,8	215,2	65	183,2	105,2
25	115,6	5,4	1	—	215,0			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
45	+1,97	—1685	5	5,57	8800
50	2,16	130	10	4,01	8520
55	2,38	+1462	15	2,48	8050
60	2,66	3030	20	1,22	7425
65	3,04	4520	25	0,16	6625
70	3,60	5880	30	—0,70	5635
75	4,37	7030	35	1,35	4480
80	5,23	7960	40	1,75	3160
85	5,95	8560	45	1,97	1705
90	6,27	8850	50	2,16	154
1,6	6,21	8860	55	2,38	—1440

Zahlentafel 21.

Versuch XV.

25 Perioden

$\tilde{J}$ = 0,08 Amp | $\tilde{J}_2$ = 3,4 Amp | t_z = 20,3° C | w = 931 | C_{Volt} = 0,0210 (0,0216)

$\tilde{E}$ = 12,0 Volt | $\tilde{E}_{12}$ = 17,4 Volt | t_c = 23,1° C | n = 700 | C_{Amp} = 0,000652 (0,000642)

P = 1,05 Watt | E_{12} = 2,83 Volt | n_k = 200

$\bar{E}_{34}$ = 0,23 Volt

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
65	—207,7	—121,0	30	151,8	36,8	2	7,8	195,2
70	186,3	133,5	35	178,4	61,7	3	—	193,6
75	159,6	150,2	40	199,5	77,9	5	—17,5	183,0
80	122,9	169,6	45	216,6	88,8	7,5	33,8	159,6
82,5	—	178,4	50	226,4	96,4	10	49,2	133,0
85	78,2	185,7	52,5	227,5	—	15	75,8	81,3
87,5	54,7	191,2	55	227,4	103,6	20	101,1	34,6
89	—	193,5	60	220,5	111,5	25	126,6	—5,0
90	29,7	194,5	65	207,6	121,6	30	151,5	36,4
1	—	194,6	70	186,5	134,5	35	177,2	60,9
2	9,4	193,8	75	157,3	151,5	40	199,5	78,0
3	—	193,0	80	121,2	170,8	45	216,4	89,0
5	+17,4	182,9	82,5	99,0	180,0	50	226,6	96,2
7,5	33,5	159,5	85	75,9	187,4	52,5	228,0	—
10	48,6	132,6	87,5	52,4	192,4	55	228,5	103,5
15	75,8	80,8	89	—	194,6	60	222,6	112,2
20	101,3	34,6	90	27,6	195,4	65	208,0	121,7
25	126,5	+4,5	1	—	195,5			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
45	+1,62	—1322	5	3,34	6160
50	1,76	251	10	2,42	6000
55	1,89	+844	15	1,48	5700
60	2,04	1925	20	0,63	5275
65	2,22	2955	25	—0,08	4720
70	2,44	3906	30	0,67	4050
75	2,75	4735	35	1,12	3260
80	3,10	5410	40	1,42	2355
85	3,40	5880	45	1,62	1351
90	3,56	6140	50	1,76	277
1	3,55	6170	55	1,89	—818
3	3,52	6175			

Zahlentafel 22.

Versuch XVI.

15 Perioden		t_z = 20,2° C	w = 931	C_{Volt} = 0,0174 (0,0176)
$\tilde{J}$ = 0,653 Amp	$\tilde{J}_g$ = 5,2 Amp	t_r = 28,4° C	n = 700	C_{Amp} = 0,00700 (0,00699)
$\tilde{E}_1$ = 18,6 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 25,3 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 4,31 Volt	n_s = 100	
P = 5,07 Watt		$\tilde{E}_{34}$ = 1,85 Volt		

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
65	—205,7	—29,0	30	137,5	19,0	2	—10,6	193,2
70	185,0	47,6	35	162,9	3,7	3	—	187,5
75	153,0	77,4	40	186,8	+5,6	5	23,6	172,7
80	105,5	121,8	45	206,2	9,8	7,5	33,0	150,2
82,5	78,6	147,8	50	219,4	11,8	10	42,5	131,0
85	49,6	171,6	52,5	222,4	—	15	62,8	93,4
87,5	23,3	191,7	55	223,5	14,2	20	85,6	63,4
89	—	197,2	60	218,8	19,4	25	111,5	38,0
90	3,2	198,4	65	206,0	29,2	30	137,4	18,0
1	—	197,4	70	182,9	48,6	35	163,6	3,5
2	+10,6	193,4	75	149,6	78,5	40	186,2	—5,5
3	—	187,4	80	103,2	123,1	45	206,0	9,9
5	23,7	172,0	82,5	77,6	146,8	50	218,8	11,8
7,5	33,0	152,4	85	47,2	174,0	52,5	221,5	—
10	42,3	131,2	87,5	22,6	191,5	55	222,9	14,3
15	63,5	92,8	89	—	197,0	60	218,5	19,2
20	86,6	62,6	90	1,3	198,2	65	205,9	29,2
25	111,0	40,1	1	—	197,0			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
50	+2,31	—753	10	25,68	15320
55	2,78	+2208	15	18,22	14620
60	3,78	5160	20	12,34	13650
65	5,72	8010	25	7,64	12350
70	9,42	10620	30	3,64	10690
75	15,27	12880	35	0,70	8680
80	23,96	14590	40	—1,08	6360
85	33,80	15590	45	1,92	3740
90	38,80	15900	50	2,31	888
0,4	38,73	15920	55	2,78	—2066
5	33,76	15780			

Zahlentafel 23.

Versuch XVII.

15 Perioden		t_z = 18,7° C	w = 931	C_{Volt} = 0,0174 (0,0177)
$\tilde{J}$ = 0,402 Amp	$\tilde{J}_g$ = 4,6 Amp	t_r = 26,8° C	n = 700	C_{Amp} = 0,00352(0,00348)
$\tilde{E}_i$ = 16,8 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 23,0 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 3,62 Volt	n_k = 100	
P = 3,31 Watt		$\tilde{E}_{34}$ = 1,125Volt		

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
65	—184,2	—47,2	30	123,2	24,8	3	—	226,3
70	165,4	69,2	35	146,3	2,1	4	—	222,5
75	137,9	106,4	40	166,1	+12,0	5	—13,7	216,3
80	101,4	151,8	45	183,1	19,3	7,5	25,0	195,7
85	61,4	196,0	50	195,2	22,3	10	36,0	172,6
87,5	39,5	213,0	52,5	197,7	—	15	57,9	127,8
90	20,2	224,1	55	199,0	26,2	20	78,7	87,6
1	—	226,4	60	195,0	33,4	25	101,6	52,3
2	4,2	227,8	65	184,0	46,5	30	123,9	24,0
3	+2,5	227,0	70	166,5	69,0	35	146,2	2,2
4	—	223,1	75	138,3	104,9	40	166,5	—12,4
5	13,5	216,7	80	103,8	149,2	45	183,6	19,2
7,5	25,0	196,0	85	61,5	193,4	50	194,8	22,3
10	35,8	173,2	87,5	39,0	211,0	52,5	197,6	—
15	57,2	128,0	90	19,0	223,0	55	199,2	26,5
20	78,5	89,0	1	—	225,9	60	185,3	33,4
25	100,8	54,0	2	4,3	226,8	65	183,8	46,0

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
50	+2,20	—1072	5	21,35	14390
55	2,60	+1590	10	17,02	14070
60	3,29	4200	15	12,60	13420
65	4,59	6740	20	8,70	12510
70	6,81	9070	25	5,24	11320
75	10,40	11100	30	2,40	9830
80	14,82	12720	35	0,22	8020
85	19,17	13820	40	—1,20	5930
90	22,00	14370	45	1,89	3590
2	22,38	14410	50	2,20	1060
2,7	22,32	14420	55	2,60	—1578

Zahlentafel 24.

Versuch XVIII.

15 Perioden		$t_z = 20{,}8°$ C	w = 931	$C_{Volt} = 0{,}0264$ (0,0269)
$\tilde{J} = 0{,}213$ Amp	$\tilde{J}_2 = 3{,}8$ Amp	$t_{\cdot} = 25{,}4°$ C	n = 700	$C_{Amp} = 0{,}00180$(0,00179)
$\tilde{E}_i = 13{,}4$ Volt	$\tilde{E}_{12} = 19{,}4$ Volt	$\tilde{E}_{12} = 3{,}78$ Volt	$n_k = 200$	
P = 2,02 Watt		$\tilde{E}_{34} = 0{,}595$ Volt		

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
65	—192,6	—70,7	30	130,0	9,4	3	—	222,0
70	173,8	92,2	35	153,3	+14,0	4	—	218,0
75	145,8	125,4	40	174,8	29,8	5	—14,4	211,3
80	109,7	164,1	45	193,0	36,6	7,5	26,9	189,5
85	66,0	200,0	50	205,1	41,5	10	39,0	165,7
87,5	44,1	212,8	52,5	207,0	—	15	60,8	118,6
90	22,2	220,1	55	208,2	47,8	20	82,9	77,9
1	—	221,6	60	203,1	56,8	25	106,1	40,5
2	5,3	222,2	65	190,6	71,6	30	129,0	9,9
3	—	221,9	70	170,5	94,6	35	152,7	—14,8
4	—	218,1	75	142,8	127,5	40	175,3	29,7
5	+14,6	210,9	80	107,6	166,2	45	194,2	36,8
7,5	26,7	191,4	85	65,1	200,6	50	205,2	41,5
10	38,5	165,8	87,5	43,7	212,8	52,5	207,6	—
15	61,3	118,9	90	22,1	220,3	55	208,6	47,5
20	83,4	77,4	1	—	221,6	60	204,5	56,6
25	107,0	40,5	2	4,9	222,6	65	192,5	70,9

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
50	+2,10	—796	5	10,65	11480
55	2,40	+1298	10	8,36	11180
60	2,86	3380	15	5,99	10690
65	3,59	5380	20	3,92	9940
70	4,71	7230	25	2,04	8980
75	6,38	8830	30	0,48	7780
80	8,33	10120	35	—0,73	6350
85	10,11	10990	40	1,50	4690
90	11,11	11430	45	1,85	2820
2	11,22	11500	50	2,10	802
2,8	11,21	11500	55	2,40	—1297

Zahlentafel 25.

Versuch XIX.

15 Perioden		$t_z = 20{,}8°$ C	$w = 931$
$\tilde{J} = 0{,}1265$ Amp	$\tilde{J}_g = 3{,}1$ Amp	$t_c = 24{,}2°$ C	$n = 700$
$\tilde{E}_i = 10{,}5$ Volt	$\tilde{E}_{1-} = 15{,}38$ Volt	$\tilde{E}_{12} = 3{,}44$ Volt	$n_k = 300$
$P = 1{,}31$ Watt		$\tilde{E}_{34} = 0{,}355$ Volt	

$C_{Volt} = 0{,}0286\ (0{,}0293)$
$C_{Amp} = 0{,}00119 (0{,}00119)$

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
65	—209,0	—81,8	30	139,1	+7,8	3	—	189,3
70	186,8	98,8	35	165,6	30,0	4	—9,6	186,2
75	159,0	121,3	40	188,6	43,6	5	16,0	180,0
80	118,5	149,4	45	208,5	50,6	7,5	29,4	160,0
85	73,2	175,4	50	220,6	55,8	10	41,8	136,9
87,5	49,5	183,8	52,5	223,2	58,6	15	64,6	94,9
90	25,0	188,8	55	225,0	61,6	20	88,5	54,0
1	—	189,5	60	219,0	70,0	25	112,6	21,7
2	7,0	189,8	65	206,7	82,6	30	138,8	—7,8
3	—	189,1	70	185,0	100,1	35	164,9	30,1
4	—	185,8	75	158,2	123,0	40	187,9	43,6
5	+16,0	179,9	80	116,0	150,8	45	206,5	50,5
7,5	29,5	158,7	85	70,5	175,4	50	219,8	55,6
10	42,1	137,0	87,5	47,5	183,8	52,5	222,4	—
15	65,3	92,3	90	23,8	189,0	55	223,5	62,2
20	88,6	54,2	1	—	190,1	60	217,5	70,4
25	113,5	20,0	2	6,6	190,2	65	207,2	81,8

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
50	+1,85	—643	5	5,98	8970
55	2,06	+990	10	4,55	8750
60	2,33	2612	15	3,11	8360
65	2,73	4170	20	1,80	7800
70	3,30	5620	25	0,69	7060
75	4,06	6880	30	—0,26	6140
80	4,99	7900	35	1,00	5030
85	5,84	8580	40	1,45	3730
90	6,28	8950	45	1,68	2282
2	6,32	8990	50	1,85	716
2,8	6,30	8990	55	2,06	—919

Zahlentafel 26.

Versuch XX.

15 Perioden		t_z = 20,7° C	w = 931	C_{Volt} = 0,0139
$\tilde{J}_{\sim}$ = 0,08 Amp	$\tilde{J}_g$ = 2,25 Amp	t_r = 23,0° C	n = 700	C_{Amp} = 0,000588 (0,000590)
(E_i = 7,1 Volt)	$\tilde{E}_{12}$ = 11,35 Volt	$\overline{E}_{12}$ = 2,15 Volt	n_k = 200	
P = 0,6 Watt		$\overline{E}_{34}$ = 0,23 Volt		

Grad	α Mittel e	i	Grad	α Mittel e	i	Grad	α Mittel e	i
65	—200,0	—121,4	30	130,2	+20,6	3	—	221,8
70	182,1	136,7	35	155,8	51,0	4	—	221,7
75	158,4	156,4	40	178,5	73,4	5	—3,6	220,5
80	125,6	180,7	45	197,0	86,2	7,5	19,8	203,0
85	84,1	203,4	50	210,2	94,6	10	33,8	176,5
87,5	63,8	212,0	52,5	212,6	—	15	58,0	118,7
90	40,6	218,4	55	214,2	102,1	20	81,8	65,8
1	—	219,8	60	209,7	110,7	25	105,9	18,8
2	22,4	220,8	65	198,6	122,5	30	130,2	—20,2
3	—	221,4	70	181,0	138,0	35	156,0	52,0
4	—	220,9	75	157,0	158,5	40	177,6	72,8
5	+4,2	219,2	80	125,6	181,7	45	196,7	86,2
7,5	19,8	201,4	85	84,4	204,3	50	210,6	94,6
10	33,5	175,8	87,5	62,2	213,4	52,5	212,9	—
15	58,0	117,6	90	40,5	218,8	55	214,6	102,1
20	81,5	64,8	1	—	220,6	60	211,0	110,8
25	105,8	18,0	2	20,9	221,5	65	200,8	122,4

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
45	+1,42	—1815	10	2,90	6220
50	1,56	725	15	1,95	5980
55	1,68	+414	20	1,08	5600
60	1,82	1551	25	0,30	5110
65	2,01	2645	30	—0,34	4470
70	2,26	3660	35	0,85	3710
75	2,59	4570	40	1,20	2816
80	2,98	5330	45	1,42	1815
85	3,35	5880	50	1,56	726
90	3,60	6230	55	1,68	—411
3	3,65	6310	60	1,82	1547
4,5	3,64	6320			

Zahlentafel 27.

Versuch XXI.

7,5 Perioden		t_z = 21,0° C	w = 931	
$\tilde{J}$ = 0,653 Amp	$\tilde{J}_g$ = 3,7 Amp	t_r = 26,5° C	n = 700	C_{Volt} = 0,0164 (0,0161)
$\tilde{E}_i$ = 9,2 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 14,16 Volt	$\tilde{E}_{12}$ = 3,62 Volt	n_k = 100	C_{Amp} = 0,0113 (0,0113)
P = 3,4 Watt		$\tilde{E}_{34}$ = 1,84 Volt		

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
65	—86,2	—48,1	40	118,8	6,0	5	29,6	61,3
70	53,2	76,8	45	127,0	7,4	10	42,2	42,1
75	22,6	108,3	47,5	127,8	—	15	53,9	27,2
77,5	8,6	116,4	50	127,8	10,5	20	67,2	15,4
80	+0,5	119,1	52,5	124,7	—	25	80,4	5,0
81	—	118,6	55	120,4	16,6	30	93,7	—1,1
82,5	6,2	114,5	60	105,4	29,0	35	107,6	4,8
85	10,4	104,2	65	82,6	48,5	40	119,2	5,9
87,5	—	94,6	70	53,7	74,6	45	126,9	7,4
90	18,5	82,2	75	23,4	106,9	47,5	128,2	—
5	30,4	62,2	77,5	—	113,8	50	128,2	10,6
10	42,3	42,6	80	0,8	117,5	52,5	125,5	—
15	54,5	27,6	81	—	116,5	55	120,8	17,1
20	66,0	15,5	82,5	—5,5	113,3	60	106,2	29,3
25	79,1	6,4	85	9,7	104,1	65	83,0	50,5
30	93,1	+1,2	87,5	—	94,5			
35	108,2	4,5	90	18,8	83,6			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
40	+1,90	—1764	90	26,25	15380
45	2,34	+1338	5	19,59	14770
50	3,33	4545	10	13,43	13880
55	5,33	7680	15	8,68	12680
60	9,26	10530	20	4,92	11180
65	15,50	12940	25	1,80	9330
70	23,98	14620	30	—0,38	7160
75	34,06	15600	35	1,46	4630
80	37,50	15850	40	1,90	1777
85	33,04	15720	45	2,34	—1327

Zahlentafel 28.

Versuch XXII.

7,5 Perioden		t_z = 19,4° C	w = 931	C_{Volt} = 0,0163 (0,0161)
$\check{J}$ = 0,402 Amp	$\check{J}_g$ = 3,2 Amp	t = 22,5° C	n = 700	C_{Amp} = 0,00819 (0,00822)
$\check{E}_1$ = 8,1 Volt	$\check{E}_{12}$ = 11,72 Volt	$\check{E}_{12}$ = 2,43 Volt	n_k = 100	
P = 1,83 Watt		$\check{E}_{34}$ = 1,12 Volt		

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
65	—79,9	—38,5	35	91,7	6,0	90	14,2	80,7
70	61,5	55,5	40	101,4	7,7	5	26,0	61,3
75	39,5	76,6	45	107,3	9,0	10	37,2	44,5
77,5	28,3	85,1	47,5	108,5	—	15	47,5	29,1
80	17,5	92,2	50	108,6	11,7	20	58,5	16,4
82,5	7,0	96,2	55	104,0	16,0	25	69,0	5,8
84	—	97,2	60	95,0	24,0	30	80,3	—1,9
85	+2,2	96,6	65	79,8	37,5	35	91,8	6,0
87,5	8,1	90,6	70	60,5	55,6	40	101,5	7,6
90	13,8	81,8	75	39,4	75,6	45	108,1	9,0
5	25,3	62,5	77,5	28,3	83,6	47,5	109,6	—
10	36,5	45,5	80	17,5	91,0	50	109,6	11,8
15	47,2	29,5	82,5	7,8	94,9	55	104,5	16,5
20	57,8	16,6	84	—	95,8	60	96,2	24,5
25	68,5	6,0	85	—1,4	95,7	65	81,4	37,5
30	79,5	+1,7	87,5	8,0	89,9			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
40	+1,74	—2323	5	14,18	13520
45	2,06	+286	10	10,30	12750
50	2,70	3000	15	6,72	11700
55	3,71	5660	20	3,78	10390
60	5,54	8150	25	1,35	8810
65	8,66	10350	30	—0,41	6970
70	12,70	12100	35	1,37	4820
75	17,42	13340	40	1,74	2410
80	20,96	14030	45	2,06	—204
84,5	22,02	14220	50	2,70	2910
90	18,58	14020			

Zahlentafel 29.

Versuch XXIII.

7,5 Perioden		$t_z = 20{,}8^0$ C	w = 931	$C_{Volt} = 0{,}0496$
$\tilde{J} = 0{,}213$ Amp	$\tilde{J}_g = 2{,}9$ Amp	$t_c = 23{,}2^0$ C	n = 700	$C_{Amp} = 0{,}00338 (0{,}00339)$
$(\tilde{E}_i = 6.5$ Volt)	$\tilde{E}_{12} = 10{,}78$ Volt	$\overline{E}_{12} = 3{,}82$ Volt	$n_k = 400$	
P = 1,40 Watt		$\overline{E}_{34} = 0{,}595$ Volt		

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
65	—72,2	—74,2	35	103,4	17,0	90	21,5	82,6
70	48,6	94,2	40	114,6	19,5	5	33,0	59,5
75	25,2	111,5	45	120,5	23,0	10	44,5	38,6
77,5	13,8	116,3	47,5	120,7	—	15	54,4	20,5
79	—	117,5	50	119,0	29,1	20	65,4	5,7
80	2,8	117,8	55	111,2	38,8	25	77,5	—6,2
81	—	117,9	60	94,5	54,0	30	89,9	13,4
82,5	+5,2	115,1	65	72,0	74,0	35	104,5	16,9
85	10,5	105,5	70	47,5	95,1	40	115,0	19,4
90	21,2	83,3	75	24,0	110,5	45	120,5	23,2
5	33,0	60,8	77,5	14,6	115,2	47,5	121,4	—
10	44,5	39,8	79	—	116,6	50	120,0	29,2
15	54,8	21,1	80	3,5	117,4	55	111,5	39,0
20	65,1	6,6	81	—	117,3	60	94,4	53,5
25	76,5	+5,7	82,5	—5,0	113,9	65	74,0	73,8
30	90,2	13,2	85	10,7	104,6			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
40	+1,84	—888	90	7,85	11080
45	2,18	+1350	5	5,69	10570
50	2,76	3630	10	3,71	9820
55	3,68	5825	15	1,97	8880
60	5,09	7780	20	0,59	7740
65	7,00	9340	25	—0,57	6380
70	8,95	10490	30	1,26	4810
75	10,50	11180	35	1,61	2963
80	11,11	11460	40	1,84	885
81	11,09	11470	45	2,18	—1350
85	9,93	11380			

Zahlentafel 30.

Versuch XXIV.

7,5 Perioden	$\tilde{J}_g$ = 2,4 Amp	t_z = 19,2° C	w = 931	C_{Volt} = 0,0443
$\tilde{J}$ = 0,1265Amp	$\tilde{E}_{12}$ = 8,90 Volt	t_r = 21,2° C	n = 700	C_{Amp} = 0,00185(0,00186)
($\tilde{E}_i$ = 4,9 Volt)		$\tilde{E}_{12}$ = 3,45 Volt	n_k = 400	
P = 0,82 Watt		$\tilde{E}_{34}$ = 0,355Volt		

Grad	α Mittel		Grad	α Mittel		Grad	α Mittel	
	e	i		e	i		e	i
65	—56,5	—92,4	35	96,0	30,4	85	14,0	95,8
70	34,0	110,7	40	103,1	34,5	90	24,0	69,2
72,5	23,7	117,8	45	105,2	40,2	5	33,5	44,4
75	13,5	121,5	47,5	103,4	—	10	41,8	22,4
77	6,2	123,4	50	99,7	48,2	15	51,5	4,5
78,5	—	123,6	55	89,8	59,6	20	60,8	—10,4
80	+4,5	120,7	60	72,8	75,6	25	71,8	20,7
82,5	9,2	110,2	65	51,6	94,8	30	84,8	26,8
85	13,4	97,2	70	31,2	110,9	35	96,0	30,4
90	23,6	70,7	72,5	—	117,1	40	103,0	34,2
5	33,1	45,0	75	11,5	120,6	45	105,5	39,5
10	42,5	22,6	76	—	121,9	47,5	104,8	—
15	51,7	4,5	77	4,0	121,5	50	101,2	47,5
20	61,3	+10,2	78,5	—1,6	121,6	55	91,2	58,8
25	72,0	20,6	80	5,4	118,0	60	76,8	74,3
30	84,6	27,0	82,5	9,6	106,6	65	56,2	93,0

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
35	+1,57	—1598	85	4,99	8810
40	1,78	+98	90	3,62	8490
45	2,06	1875	5	2,31	8010
50	2,48	3635	10	1,16	7340
55	3,06	5270	15	0,23	6570
60	3,88	6670	20	—0,53	5620
65	4,85	7770	25	1,07	4480
70	5,73	8520	30	1,39	3160
75	6,27	8900	35	1,57	1627
77,5	6,35	8970	40	1,78	—66
78,5	6,34	8980	45	2,06	1842
80	6,18	8970			

Zahlentafel 31.

Versuch XXV.

7,5 Perioden		t_z = 19,6° C	w = 931
$\tilde{J}$ = 0,08 Amp	$\tilde{J}_g$ = 2,0 Amp	t_r = 21,3° C	n = 700
($\tilde{E}_i$ = 3,6 Volt)	$\tilde{E}_{12}$ = 6,39 Volt	$\overline{E}_{12}$ = 2,15 Volt	n_k = 400
P = 0,44 Watt		$\overline{E}_{34}$ = 0,22 Volt	C_{Volt} = 0,0273
			C_{Amp} = 0,00115(0,00117)

Grad	α Mittel		Grad	α Mittel		Grad	α Mittel	
	e	i		e	i		e	i
65	—76,6	—87,5	35	107,8	41,5	90	25,6	72,6
70	58,2	100,4	40	116,3	45,6	5	36,4	46,0
75	34,0	111,6	45	119,6	50,4	10	46,5	22,5
76,5	—	114,2	47,5	118,8	—	15	56,8	1,6
79	—	117,0	50	116,0	56,6	20	68,5	—14,8
80	8,0	117,4	55	106,6	64,6	25	80,2	27,2
81	3,5	117,5	60	91,8	75,4	30	94,4	35,7
82,5	+4,0	115,5	65	73,4	87,6	35	106,3	41,2
85	11,1	105,5	70	52,0	100,2	40	116,3	45,2
87,5	17,7	91,4	75	29,5	110,5	45	120,2	49,6
90	23,6	77,6	76,5	22,9	112,2	47,5	119,7	—
5	35,4	48,5	79	—	114,4	50	117,2	55,5
10	46,2	23,8	80	5,0	115,2	55	109,9	63,5
15	57,2	2,6	81	0,8	114,7	60	95,0	74,5
20	68,0	+14,1	82,5	—5,5	111,8	65	76,6	87,2
25	80,3	27,2	85	12,3	102,0			
30	95,1	36,4	87,5	18,4	87,6			

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
35	+1,33	—1572	85	3,34	6480
40	1,46	402	90	2,42	6290
45	1,61	+837	5	1,52	5970
50	1,80	2080	10	0,75	5550
55	2,06	3258	15	0,07	5010
60	2,41	4320	20	—0,46	4360
65	2,81	5185	25	0,88	3583
70	3,23	5860	30	1,16	2680
75	3,57	6325	35	1,33	1623
80	3,74	6515	40	1,46	453
81,3	3,73	6525	45	1,61	—784

Zahlentafel 32.

Versuch XXVI.

(Spitze Spannungskurvenform.)

50 Perioden $\dot{J}$ = 0,862 Amp $\dot{E}_1$ = 71,2 Volt P = 23,0 Watt	$\dot{E}_{12}$ = 99,5 Volt	t_z = 21,5° C t_r = 46,0° C $\bar{E}_{12}$ = 14,5 Volt $\bar{E}_{34}$ = 2,68 Volt	w = 931 n = 700 n_k = 100	$C_{Vol.}$ = 0,0890 C_{Amp} = 0,00706

Grad	α Mittel		Grad	α Mittel		Grad	α Mittel	
	e	i		e	i		e	i
65	—26,2	—154,0	37,5	214,1	—	10	44,8	84,9
70	13,4	181,6	38,5	214,0	—	15	73,8	50,4
72,5	—	191,8	40	213,0	26,0	17,5	88,6	34,0
75	5,4	197,2	42,5	207,6	—	20	104,6	22,3
77,5	—	200,3	45	195,7	35,9	22,5	122,5	10,0
78,5	—	200,3	47,5	174,4	—	25	140,4	0
80	+1,8	198,5	50	138,2	58,5	30	181,4	—13,2
82,5	—	192,1	52,5	107,2	—	32,5	199,2	—
85	7,4	181,5	55	80,5	94,4	35	210,2	18,5
90	15,8	151,9	60	42,3	131,5	36,5	213,0	—
5	29,0	115,0	65	20,0	163,5	37,5	213,0	—
10	48,8	78,6	70	11,0	186,4	38,5	213,5	—
15	77,1	45,7	72,5	—	194,6	40	213,1	24,8
17,5	92,2	30,5	75	3,8	199,2	42,5	210,2	—
20	108,2	19,2	77,5	—	200,5	45	199,0	33,8
22,5	127,4	7,0	78,5	—	200,0	47,5	177,5	—
25	144,5	+2,0	80	—2,4	198,5	50	143,5	55,7
30	186,2	14,3	82,5	—	191,5	52,5	111,7	—
32,5	204,5	—	85	7,1	182,1	55	85,0	90,3
35	212,8	19,5	90	15,2	154,5	60	47,0	125,8
36,5	214,1	—	5	26,6	119,6	65	24,0	157,2

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
35	+3,75	—1060	85	35,86	15630
40	5,02	+3304	90	30,25	15400
45	6,87	7540	5	23,18	15000
50	11,28	11080	10	16,15	14270
55	18,22	13280	15	9,48	13020
60	25,35	14510	20	4,11	11170
65	31,20	15190	25	—0,20	8600
70	36,35	15530	30	2,72	5280
75	39,15	15700	35	3,75	1207
78,5	39,55	15720	40	5,02	—3154

Zahlentafel 33.

Versuch XXVII.

(Spitze Spannungskurvenform.)

50 Perioden
$\tilde{J}$ = 0,2406 Amp
$\tilde{E}_i$ = 48,5 Volt
P = 8,22 Watt

$\tilde{E}_{12}$ = 69,7 Volt

t_z = 21,0° C
t_r = 34,0° C
$\overline{E}_{12}$ = 10,38 Volt
$\overline{E}_{34}$ = 0,70 Volt

w = 931
n = 700
n_k = 100

C_{Volt} = 0,0586
C_{Amp} = 0,00201

Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i	Grad	α Mittel e	α Mittel i
65	—122,2	—122,8	40	180,2	48,0	10	30,5	111,3
70	71,8	153,4	42,5	194,2	—	15	45,0	80,2
75	37,9	177,2	45	203,7	58,0	20	60,6	52,4
77,5	26,2	184,2	47,5	207,3	—	25	80,3	23,5
80	15,9	189,4	50	205,8	69,7	27,5	92,1	9,4
82,5	—	191,5	52,5	200,3	—	30	104,5	—4,2
84	—	190,8	55	190,8	83,5	32,5	119,3	16,6
85	+1,9	189,0	60	156,9	102,0	35	135,9	28,5
90	8,6	172,6	62,5	132,4	—	37,5	151,1	—
5	17,3	146,3	65	107,0	131,2	40	169,2	44,5
10	28,4	116,0	70	61,4	160,1	42,5	185,8	—
15	42,7	84,2	75	31,0	181,1	45	198,2	54,8
20	61,2	51,1	77,5	20,6	186,8	47,5	206,0	—
25	85,0	16,9	80	10,0	190,8	50	207,9	65,5
27,5	98,6	2,0	82,5	—	190,8	52,5	204,1	—
30	114,2	+12,2	84	—	188,5	55	198,5	78,9
32,5	128,0	23,9	85	—3,5	186,7	60	171,4	94,8
35	143,8	34,1	90	10,7	167,5	62,5	151,8	—
37,5	163,2	—	5	19,4	140,6	65	126,8	121,1

Feldkurve und Hystereseschleife.

Grad	H	B	Grad	H	B
40	+2,59	—3402	5	8,06	10990
45	3,16	853	10	6,38	10680
50	3,79	+1918	15	4,61	10180
55	4,56	4630	20	2,91	9460
60	5,52	7080	25	1,13	8480
65	6,96	9000	30	—0,46	7210
70	8,80	10200	35	1,75	5540
75	10,08	10880	40	2,59	3440
80	10,69	11190	45	3,16	901
84	10,63	11250	50	3,79	—1862
90	9,55	11150			

Zahlentafel 34.

Versuch	$\tilde{E}_n$ (gemessen in a)	a) B_{max} (nach Wechselstrom-versuch)	zugehörig H	b) B_{max} (nach Kommutierungslinie)	Abweichung von a) gegen b) in %
I	126,9	15850	39,05	15730	0,7
II	140,9	14180	21,86	14110	0,2
III	133,6	11420	10,68	11240	1,6
IV	140,4	8500	5,68	8400	1,2
V	143,0	5570	3,08	5550	0,2
VI	120,2	16040	39,24	15770	1,8
VII	108,8	14430	21,95	14130	2,1
VIII	86,2	11480	10,81	11300	1,4
IX	91,7	8680	5,86	8520	1,9
X	96,3	5840	3,22	5750	1,5
XI	121,8	15820	39,18	15750	0,4
XII	126,4	14320	21,98	14130	1,3
XIII	128,8	11490	11,18	11430	0,2
XIV	126,8	8860	6,21	8800	0,8
XV	142,6	6175	3,52	6170	0
XVI	132,6	15920	38,73	15720	1,2
XVII	120,2	14420	22,32	14190	1,8
XVIII	126,4	11500	11,21	11460	0,2
XIX	136,6	8990	6,30	8860	1,3
XX	131,6	6320	3,64	6320	0
XXI	70,2	15850	37,50	15670	1,1
XXII	63,5	14220	22,02	14150	0,5
XXIII	67,2	11470	11,09	11410	0,3
XXIV	58,8	8980	6,34	8880	1,1
XXV	69,4	6525	3,73	6440	1,3
XXVI	85,6	15720	39,55	15780	0,2
XXVII	92,9	11250	10,63	11220	0,1

Zahlentafel 35.

Versuch	$\frac{F}{2}$ (cm²)	Arbeit pro Cyklus (Erg)	Watt berechnet(aus Schleifeninhalt)	Gesamte Watt = Watt berechn. + $\overline{J} \cdot \overline{E}_{12}$	Ges. Watt angezeigt (in Klammer: Ausschlag)
I	55,25	1790000	8,95	14,96	15,25 (30,8)
II	45,75	1482000	7,41	10,08	10,40 (20,95)
III	32,18	1042000	5,21	6,40	6,45 (12,95)
IV	19,45	630000	3,15	3,72	3,86 (7,7)
V	9,65	312500	1,563	1,79	1,88 (3,8)
VI	50,90	1650000	6,600	11,49	11,80 (23,8)
VII	43,30	1405000	5,620	7,98	8,10 (16,3)
VIII	30,10	975000	3,900	5,11	5,38 (10,75)
IX	18,68	605000	2,420	2,99	3,10 (6,1)
X	9,83	318400	1,274	1,50	1,48 (3,0)
XI	46,75	1515000	3,788	7,75	7,87 (15,8)
XII	39,90	1293000	3,243	5,10	5,12 (10,25)
XIII	27,55	893000	2,243	3,43	3,48 (6,9)
XIV	17,55	568000	1,420	1,99	1,99 (4,05)
XV	9,55	309500	0,774	1,00	1,05 (2,2)
XVI	43,50	1410000	2,115	4,93	5,07 (10,1)
XVII	37,20	1207000	1,810	3,26	3,31 (6,6)
XVIII	25,43	825000	1,238	2,04	2,02 (4,1)
XIX	16,47	543000	0,815	1,25	1,31 (2,7)
XX	9,15	296200	0,445	0,62	0,60 (1,3)
XXI	40,35	1309000	0,981	3,35	3,40 (6,8)
XXII	32,82	1065000	0,799	1,78	1,83 (3,75)
XXIII	23,70	768000	0,576	1,39	1,40 (2,90)
XXIV	15,32	496500	0,372	0,81	0,82 (1,80)
XXV	8,92	289000	0,217	0,39	0,44 (1,0)
XXVI	61,00	1976000	9,88	22,38	23,00 (46,5)
XXVII	33,45	1086000	5,43	7,93	8,22 (16,55)
Gleichstr.			bei B_{max}:		
1	36,10	1170000	15689		
2	18,85	610500	10481		
3	6,43	208200	5657		

Zahlentafel 36.

Perioden:	0	7,5	15	25	40	50
B_{max}	E_{rg}	E_{rg}	E_{rg}	E_{rg}	E_{rg}	E_{rg}
4000	$12{,}2.10^4$	$13{,}6.10^4$	$14{,}7.10^4$	$16{,}3.10^4$	$18{,}3.10^4$	$19{,}4.10^4$
6000	23,1	25,4	27,5	30,0	33,1	35,0
8000	37,5	41,0	44,2	48,1	53,0	56,0
10000	55,0	60,2	65,0	70,7	78,0	82,4
12000	74,5	81,8	88,2	96,1	106,2	112,5
14000	96,7	105,7	114,8	124,8	137,7	145,5
16000	120,7	132,2	142,5	154,9	171,7	182,5

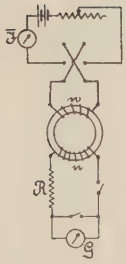

Abb.1.

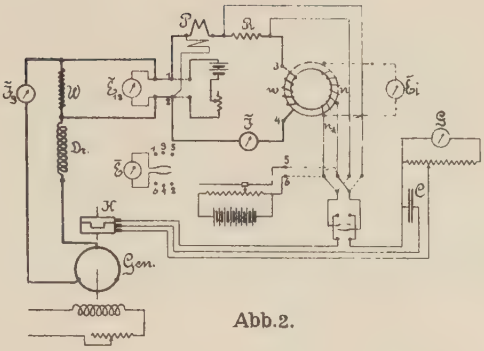

Abb.2.

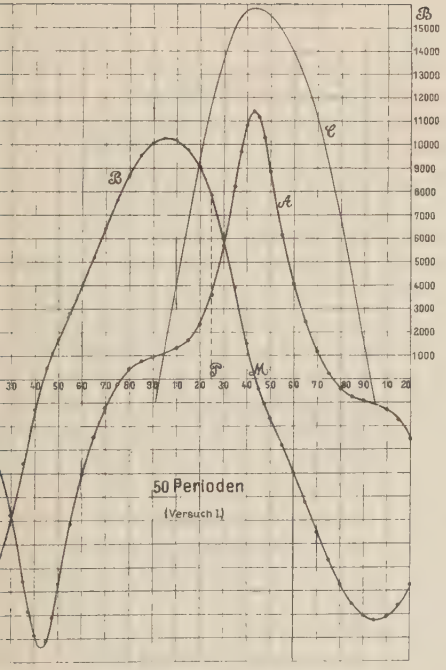

Abb.3.

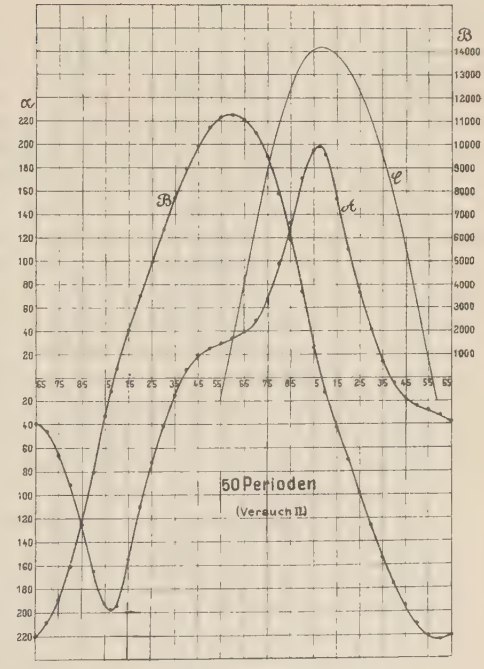

Abb.4.

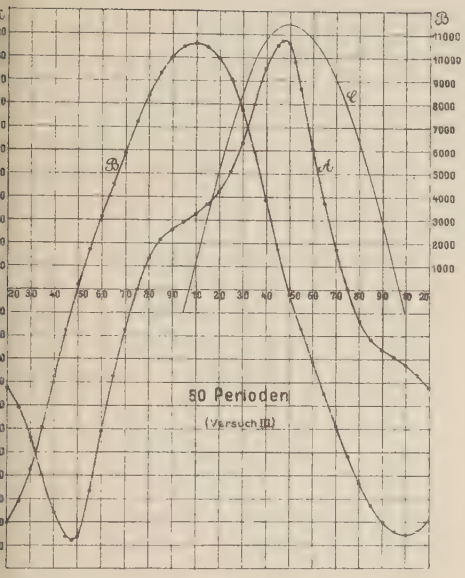

Abb. 5.

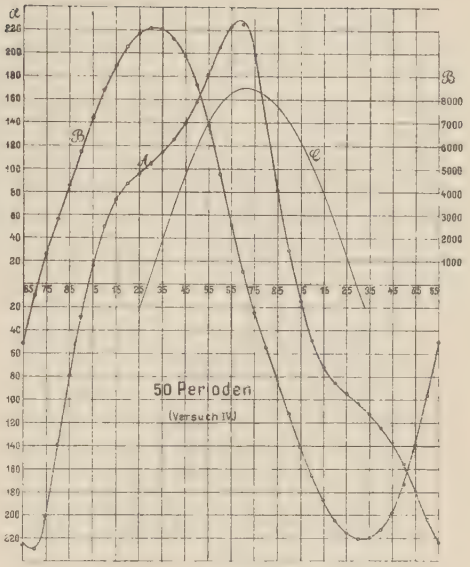

Abb. 6.

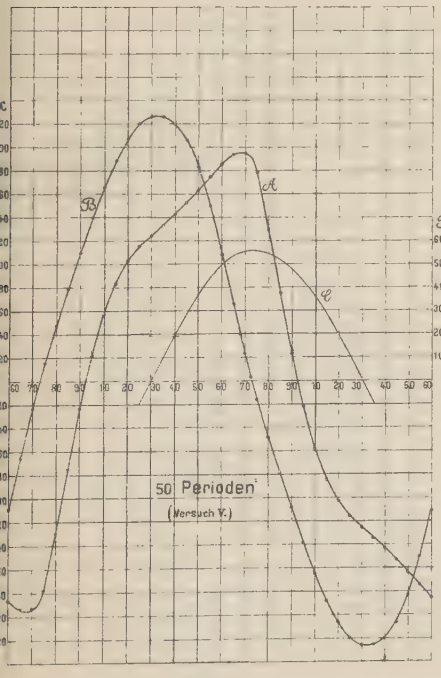

Abb. 7.

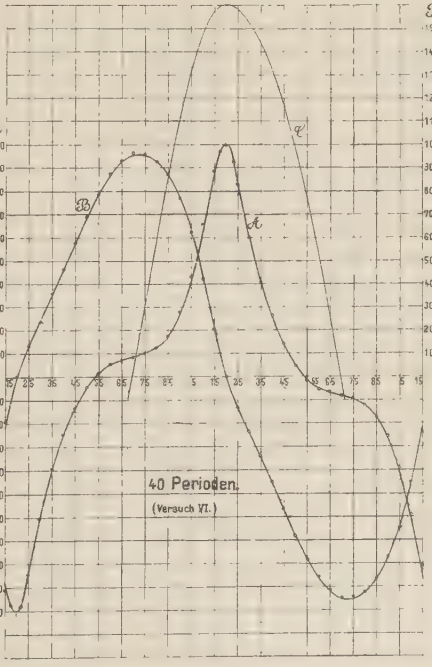

Abb. 8.

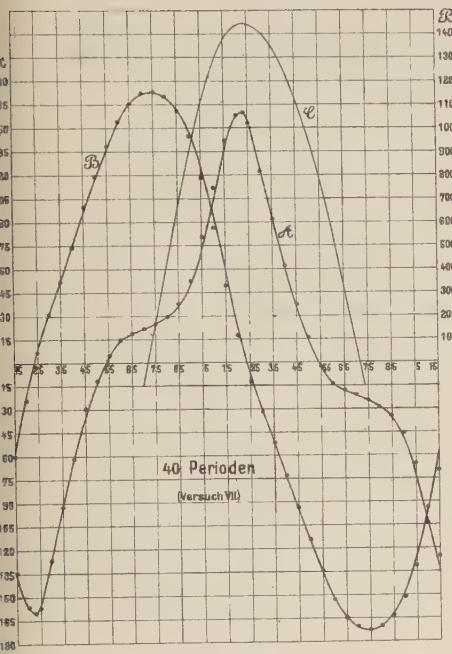

Abb. 9.

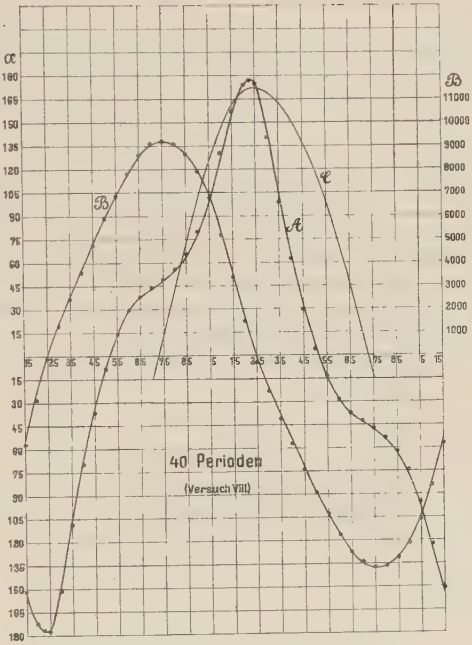

Abb. 10.

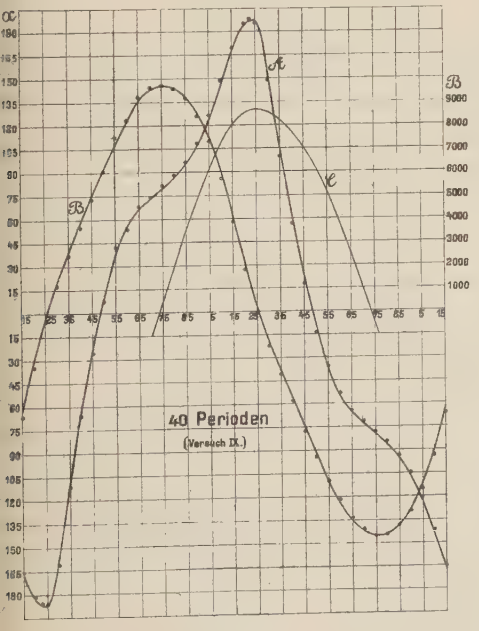

Abb. 11.

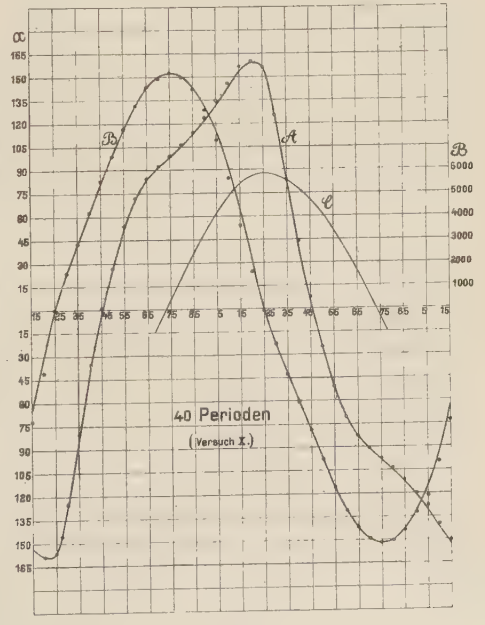

Abb. 12.

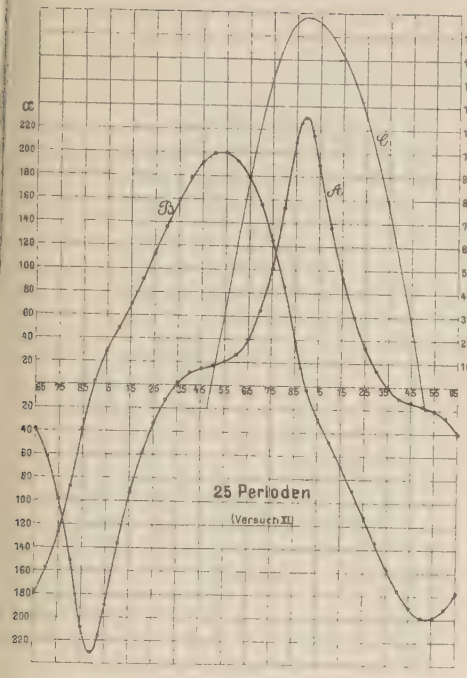

Abb. 13.

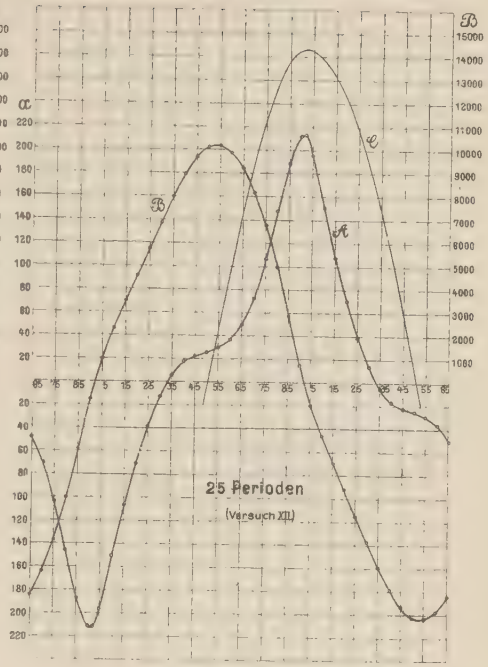

Abb. 14.

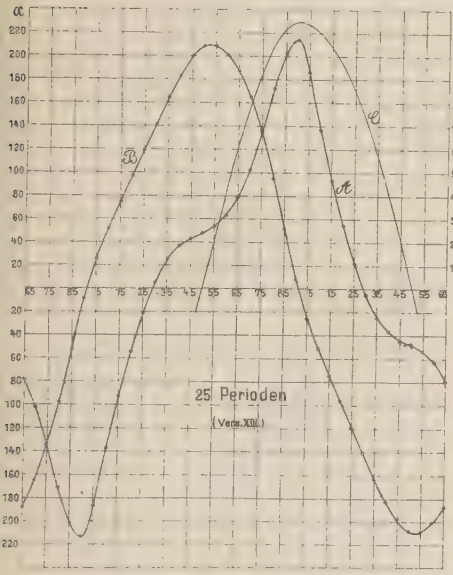

Abb. 15.

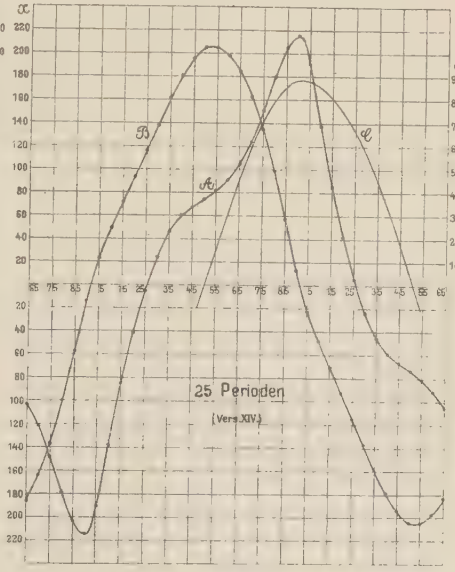

Abb. 16.

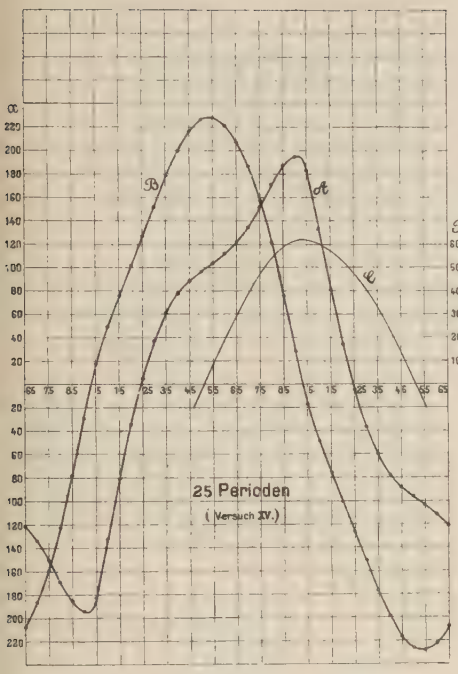

Abb. 17.

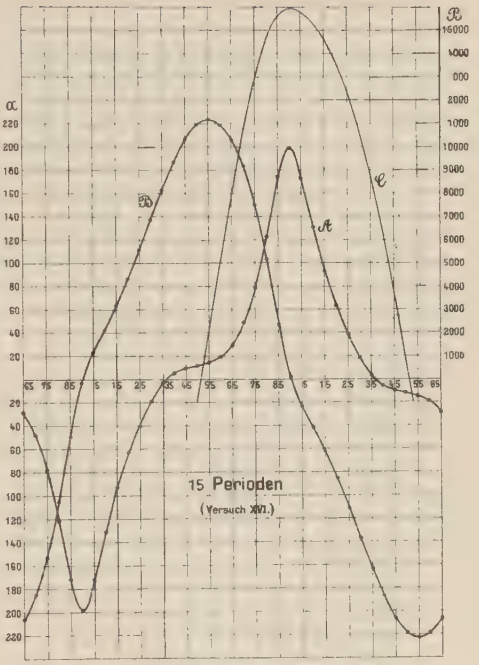

Abb. 18.

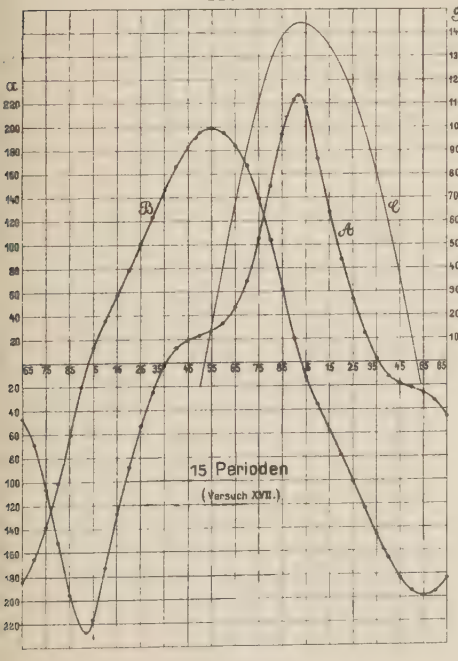

Abb. 19.

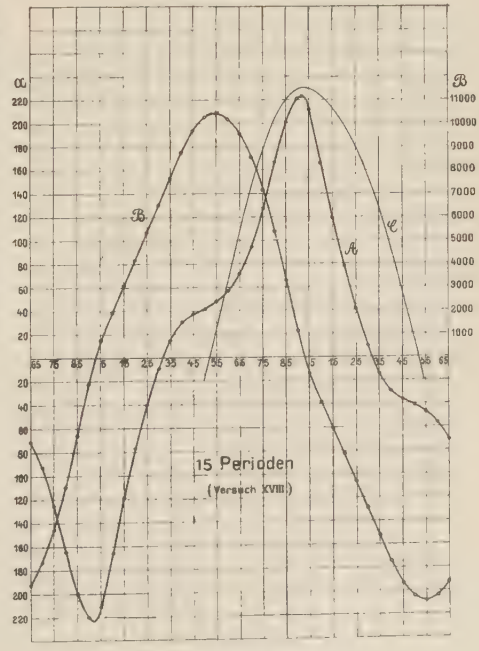

Abb. 20.

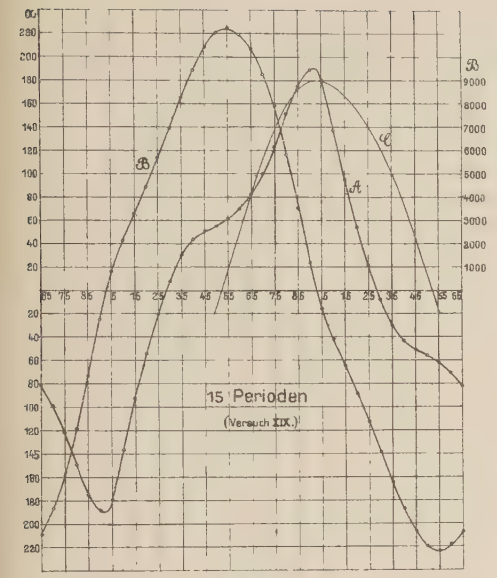

Abb. 21.

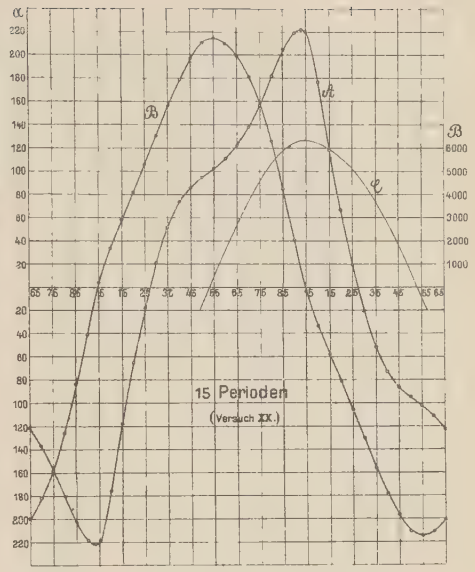

Abb. 22.

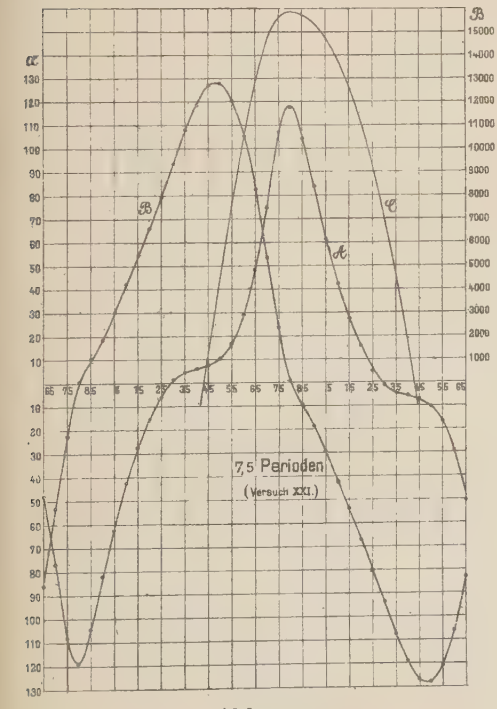

Abb. 23.

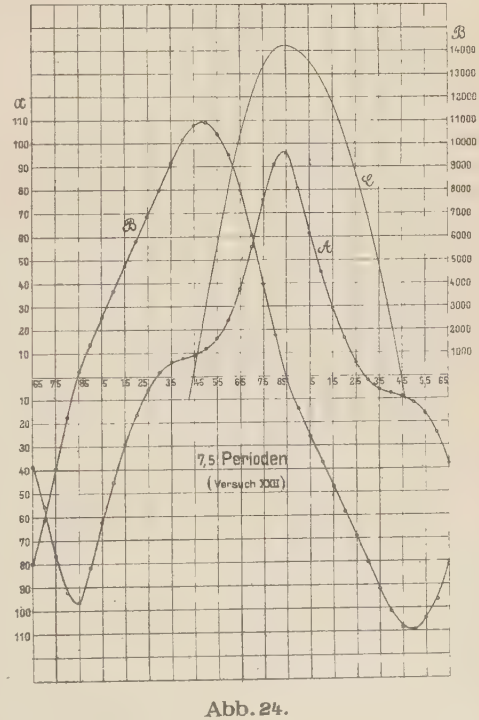

Abb. 24.

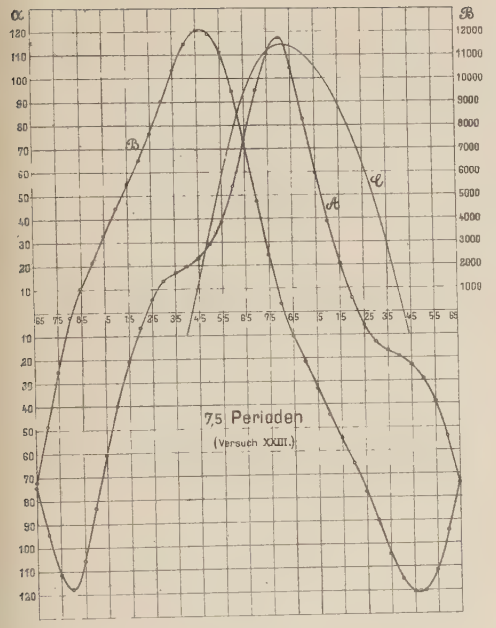

Abb. 25.

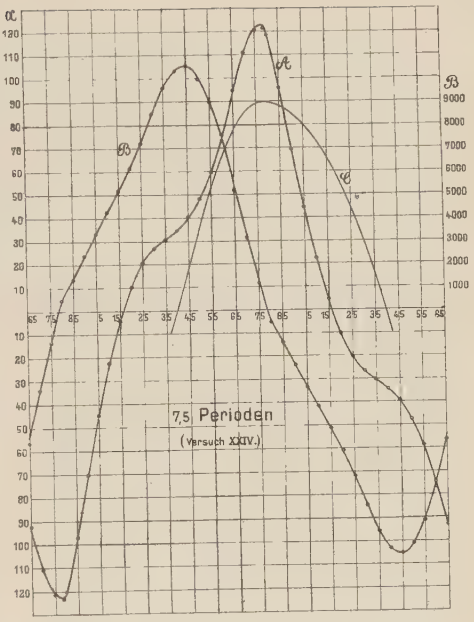

Abb. 26.

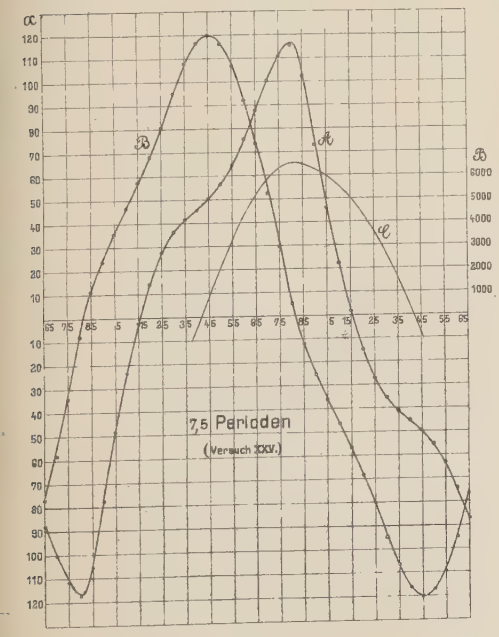

Abb. 27.

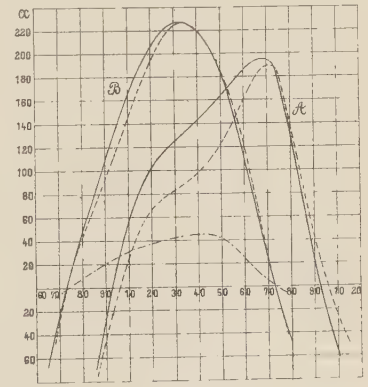

Abb. 28.

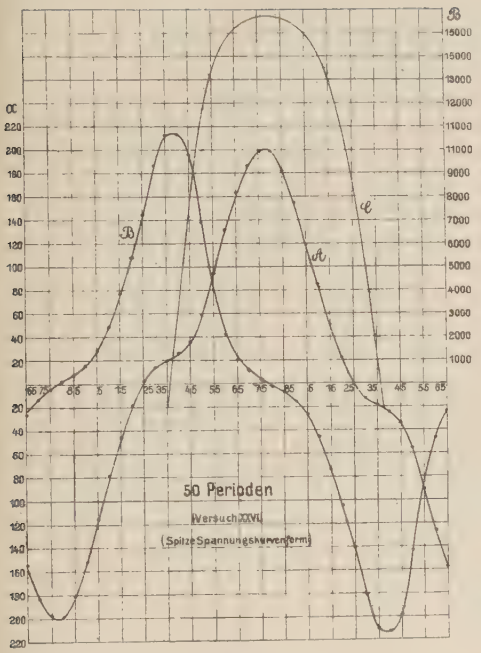

Abb. 29.

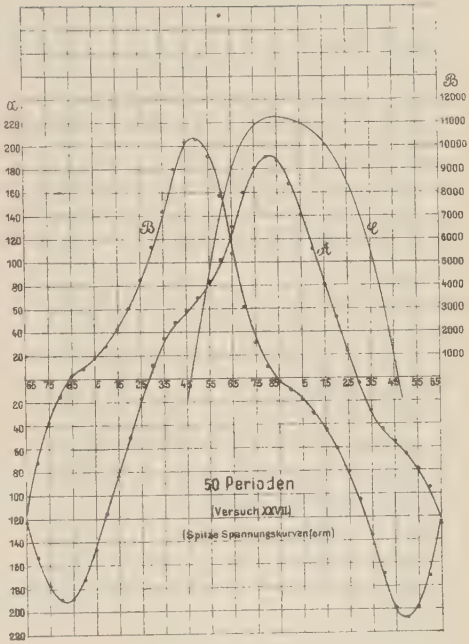

Abb. 30.

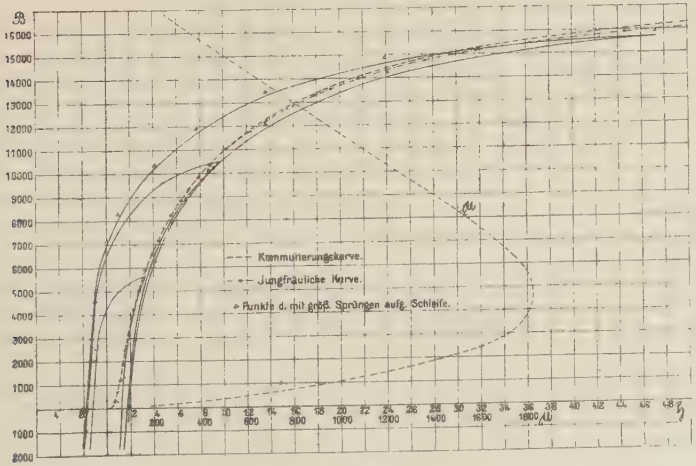

Abb. 31.

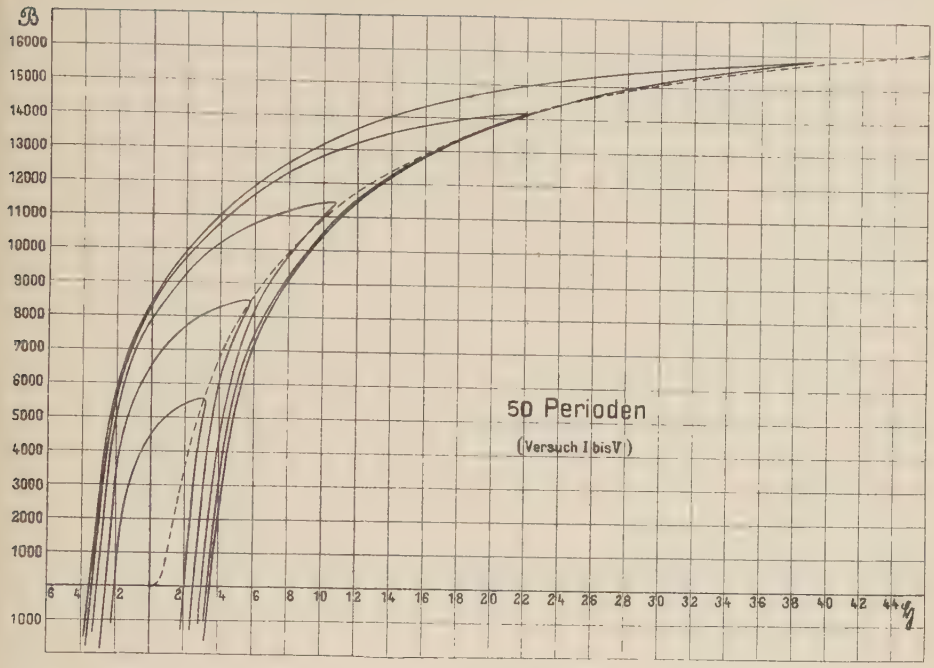
B
16000
15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
1000
6 4 2 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44
50 Perioden
(Versuch I bis V)

Abb. 32.

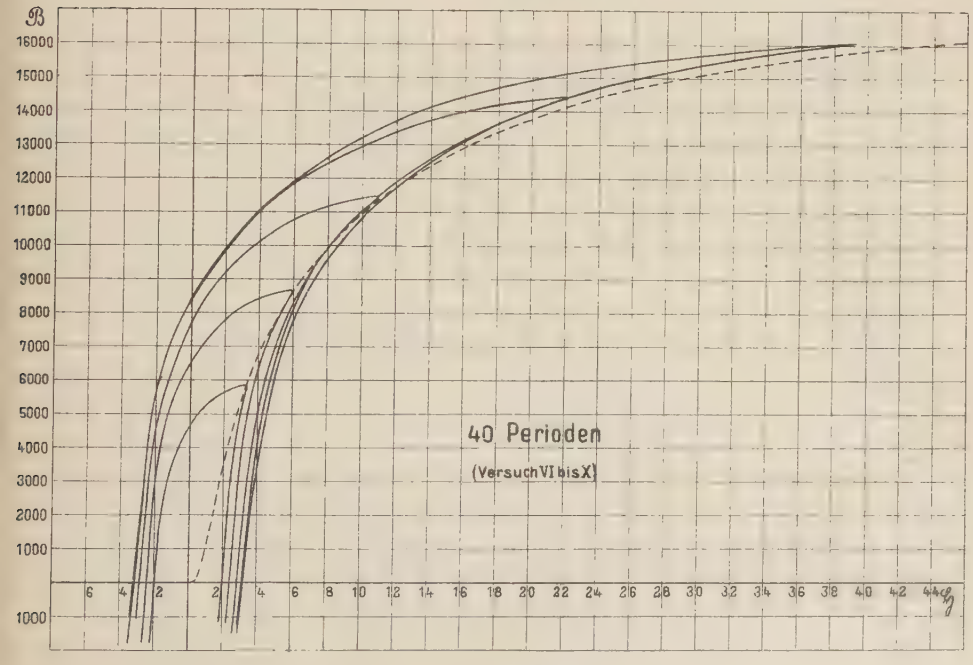
B
16000
15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
1000
6 4 2 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44
40 Perioden
(Versuch VI bis X)

Abb. 33.

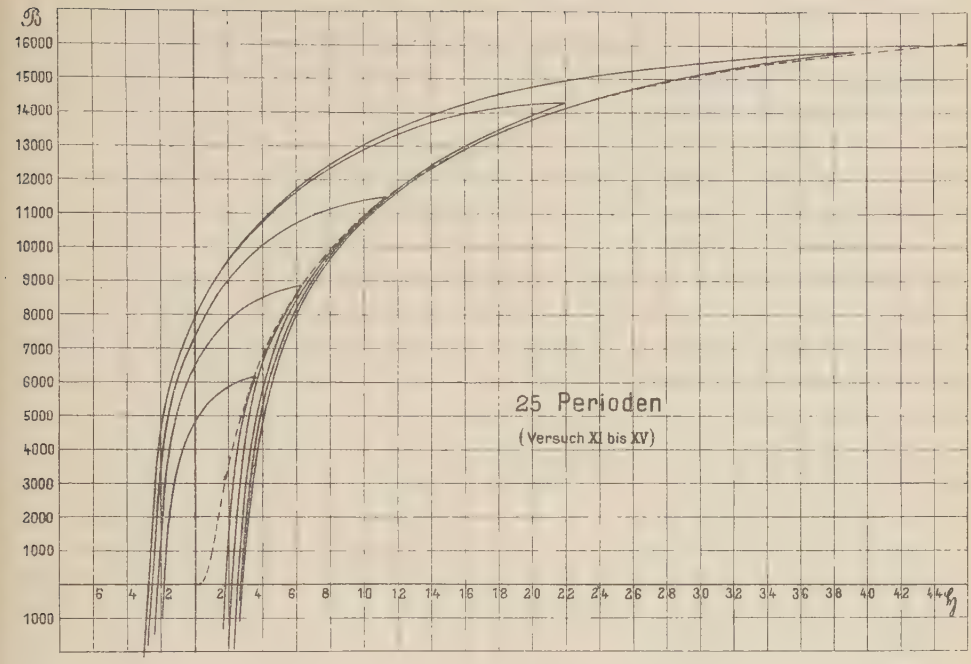
R
16000
15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
1000
6 4 2 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 q
25 Perioden
(Versuch XI bis XV)

Abb. 34.

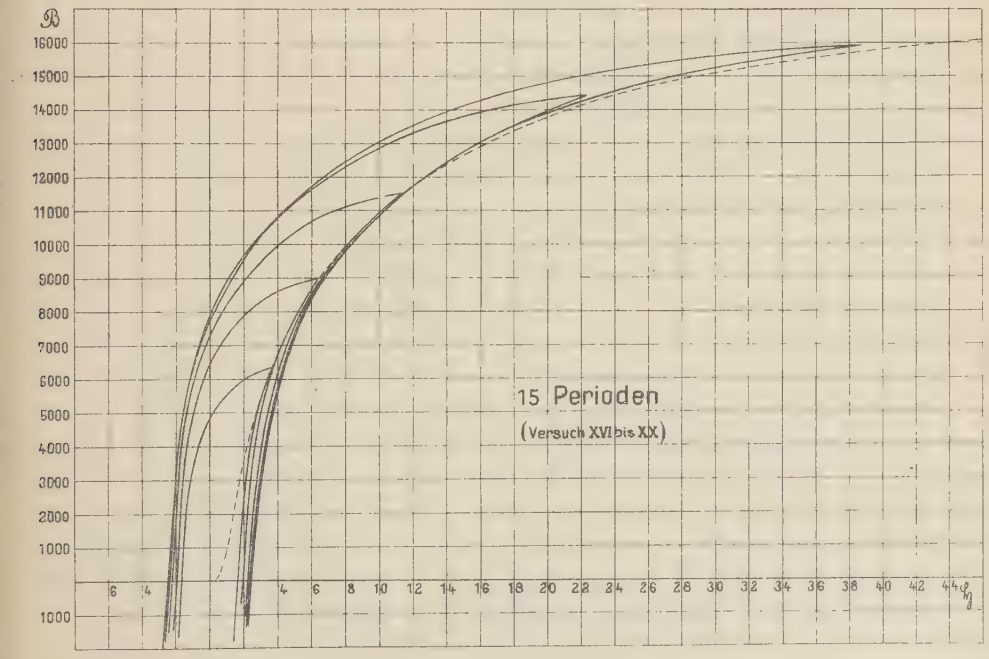
R
16000
15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
1000
6 4 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 q
15 Perioden
(Versuch XVI bis XX)

Abb. 35.

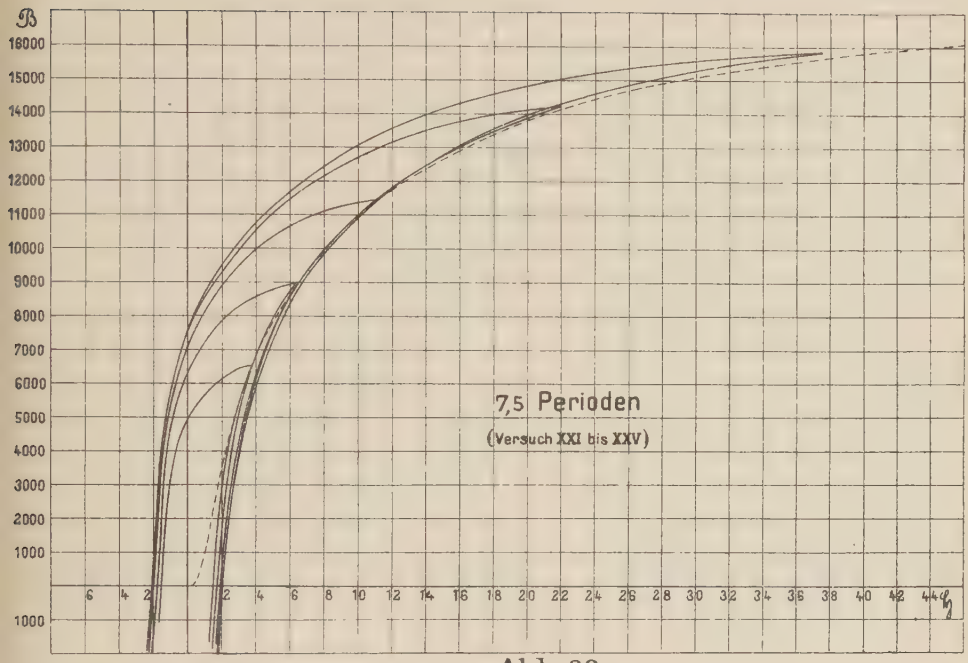
B
16000
15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
1000
6 4 2 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 φ
7,5 Perioden
(Versuch XXI bis XXV)

Abb. 36.

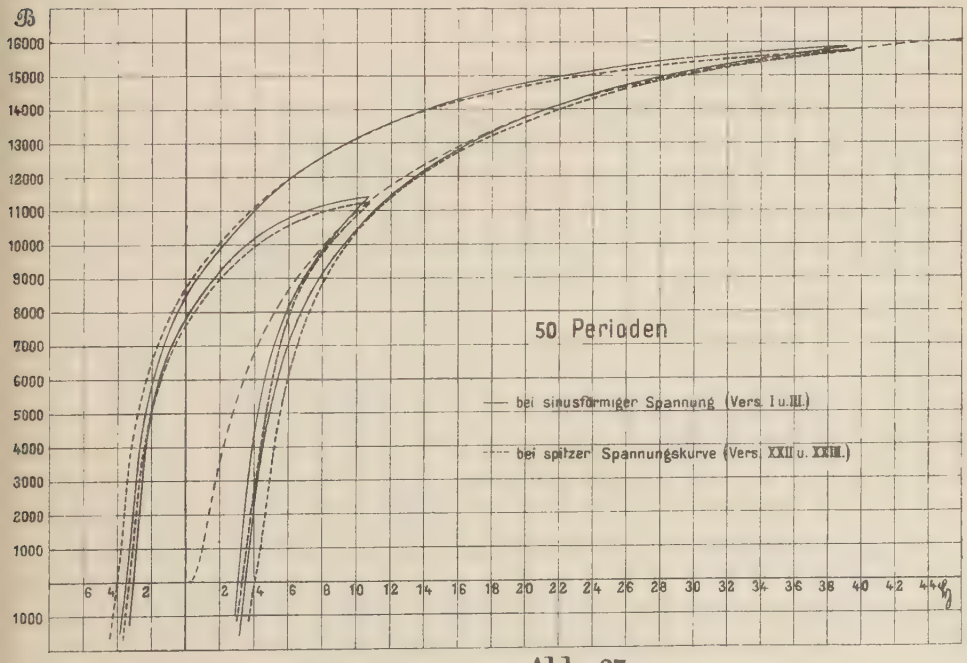
B
16000
15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
1000
6 4 2 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 φ
50 Perioden
bei sinusförmiger Spannung (Vers. I u. III.)
bei spitzer Spannungskurve (Vers. XXII u. XXIII.)

Abb. 37.

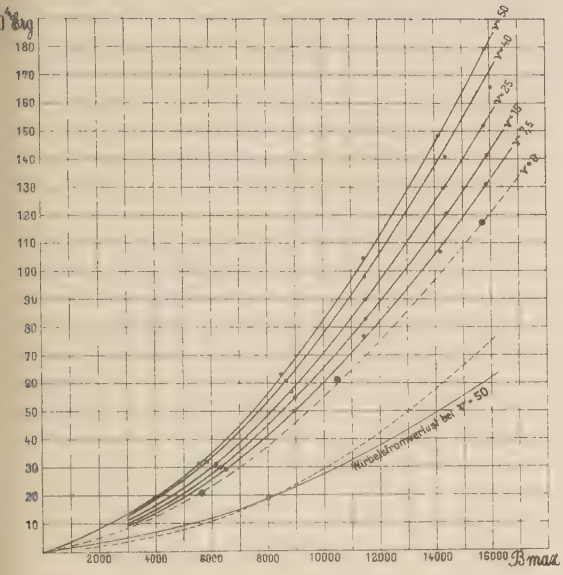

Abb. 38.

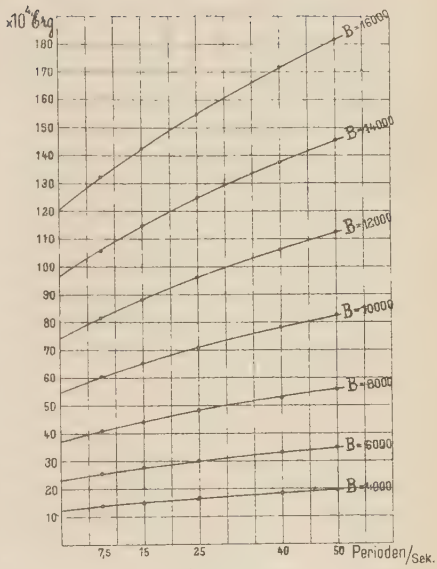

Abb. 39.

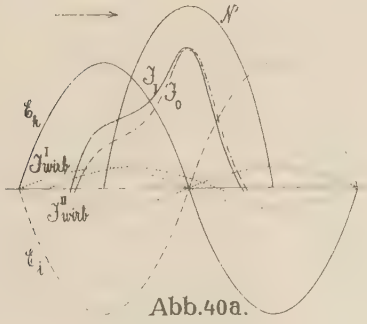

Abb. 40a.

Abb. 40b.

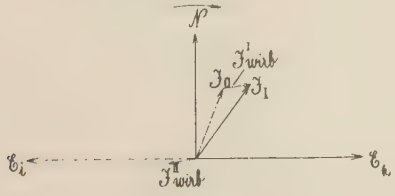

Abb. 40c.

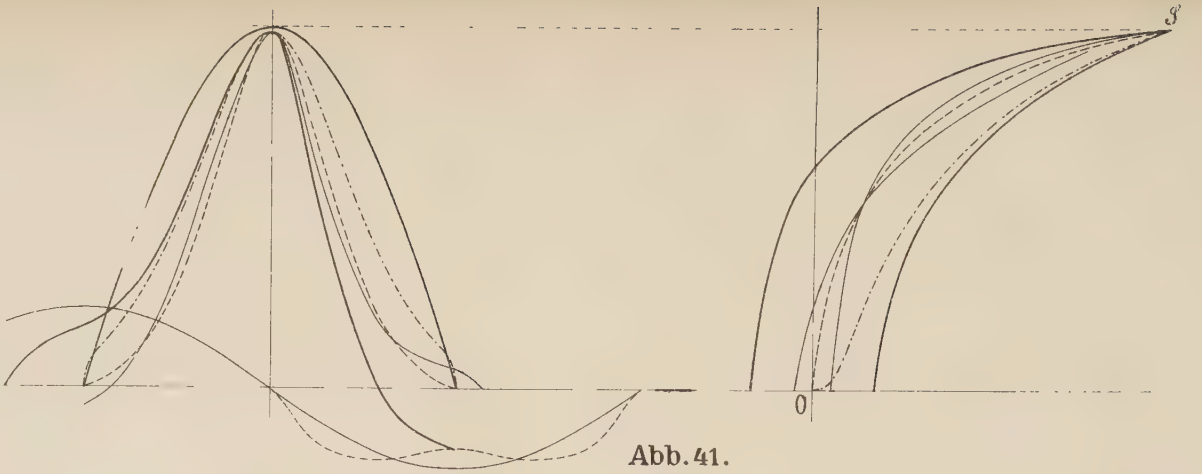

Abb. 41.

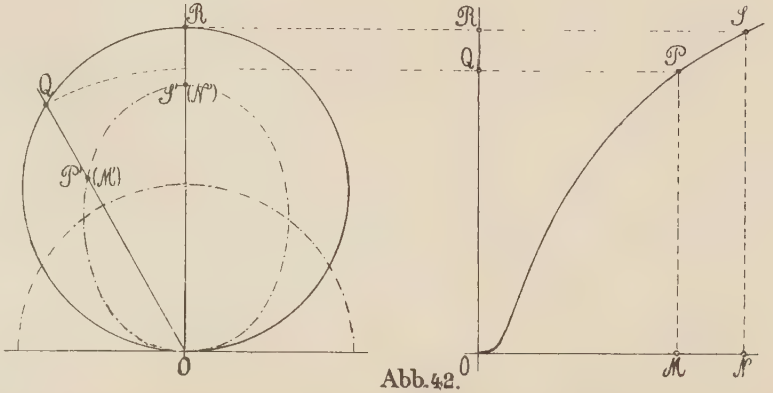

Abb. 42.

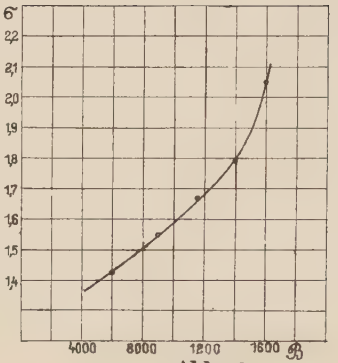

Abb. 43.

Tafel 13